



SAVONIA

Revitin ja Robotin yhteiskäyttö teräsrakenteiden suunnittelussa

Matti Passi

Opinnäytetyö

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Matti Passi	
Työn nimi Revitin ja Robotin yhteiskäyttö teräsrakenteiden suunnittelussa	
Päiväys 3.2.2012	Sivumäärä/Liitteet 45+32
Ohjaaja(t) Lehtori Viljo Kuusela, Lehtori Matti Mikkonen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Insinööritoimisto Savela Oy/ Toimitusjohtaja, RI Markku Savela	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän insinöörityön tavoitteena oli tuottaa ohjekirja <i>Revit Structure</i> ja <i>Robot Structural Analysis</i> -ohjelmien yhteiskäytöstä. Työssä käytettiin mallirakenteena olemassa olevaa teräsrakenteista teollisuushallia. Lisäksi työssä vertailtiin voimasuureita <i>Jigi</i>- ja <i>Tera</i>-laskentaohjelmilla <i>Robotin</i> laskentatulokseen. Vertailun tarkoituksena oli motivoida toimiston työntekijät uusiin ohjelmiin.</p> <p>Työ aloitettiin perehtymällä ohjelmistoihin. Esimerkkimallina olleesta kehärakenteesta laadittiin tietomalli <i>Revit Structure 2011</i>-rakennesuunnitteluohjelmistolla. Tietomalli siirrettiin <i>Robot Structural Analysis 2011</i>-laskentaohjelmistoon. Laskennan tuloksena saatiin kehärakenteen voimasuureet. Rakenteiden mitoitus suoritettiin <i>Robotissa</i> käyttäen viimeisintä standardia <i>SFS-EN 1993-1-1 Eurocode 3: Teräsrakenteiden suunnittelu ja toteuttaminen</i>.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin ohjekirja, jolla saadaan aloitusasetelma tietomallipohjaisen suunnittelun aloittamiseen. Ohjelmistojen käytöstä tehtiin paljon hyödyllistä havaintoa. Tarkan tietomallin ja luotettavien laskentatuloksien aikaansaamiseksi, ohjelmiston käyttäjän täytyy tietää mitä on tekemässä. Ohjelmistojen käyttäminen vaatii huolellista työskentelyä ja kokemuksen tuomaa varmuutta. Laskentatulokset osoittivat, että <i>Robotin</i> voimasuureet eroavat vain vähän <i>Jigin</i> ja <i>Teran</i> tuloksista. Työssä tehdään teräsmitoitusta ainoastaan Robotilla ja mitoitus ja sen ohjeellinen osuus jää ohjekirjan sisällöksi, jota ei tässä opinnäytetyössä julkaista.</p>	
Avainsanat revit structure, robot structural analysis, teräsrakenteet	
julkinen	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme In Construction Engineering			
Author(s) Matti Passi			
Title of Thesis The Co-operation of Revit and Robot in designing steel structures			
Date	February 3, 2012	Pages/Appendices	45+32
Supervisor(s) Mr Viljo Kuusela, Lecturer, Mr Matti Mikkonen, Lecturer			
Client Organisation/Partners Insinööritoimisto Savela Oy/ Managing Director, RI Markku Savela			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this final project was to create a small manual for using <i>Revit Structure</i> and <i>Robot Structural Analysis</i>. The work was to be done by using the model structure, which is an existing steel structure. In addition to that, a comparison of forces and moments between <i>Robot</i>, <i>Jigi</i> and <i>Tera</i> calculation programs was to be made. The purpose of the comparison was to motivate the employees to use these programs.</p> <p>The work was started by studying the design programs. Then, a simple building information model was created by using <i>Revit Structure</i>. The model was transferred to <i>Robot Structural Analysis</i> which gave the forces and moments of the structure and they were compared to the programs. The calculations were made by using the latest standard <i>SFS-EN 1993-1-1 Eurocode 3: Structural steel design and implementation</i>.</p> <p>As a result of this final project there was a handbook which provides tools for starting to use 3D design programs. A lot of information was gained when using the programs. It was found out that the user of the program must be aware of what he is doing and that using the software requires careful work. The calculation results showed that there is only a slight difference between <i>Robot</i>, <i>Jigi</i> and <i>Tera</i>. Structural steel design is only done by using <i>Robot</i> and the results are exclusively presented in the manual but not discussed in this final project.</p>			
<p>Keywords</p> <p>revit structure, robot structural analysis, steel structures</p>			
public			

ALKUSANAT

Haluan kiittää lehtori Viljo Kuusela ja lehtori Matti Mikkosta opinnäytetyöni ohjauksesta. Haluan kiittää myös RI Markku Savelaa Insinööritoimisto Savela Oy:stä saamastani kiinnostavasta opinnäytetyöaiheesta.

Lisäksi haluan kiittää opiskelijatovereitani, läheisiäni ja vanhempiani opintojeni varrella saamastani avusta ja tuesta.

Kuopiossa 3.2.2012

Matti Passi

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	8
2	TIETOMALLINNUS RAKENNESUUNNITTELUSSA	10
2.1	Tietomallintaminen.....	10
2.2	Ohjelmistoista.....	12
2.2.1	Revit Structure	12
2.2.2	Robot Structural Analysis.....	13
2.2.3	Jigi	13
2.2.4	Tera 4.0.....	13
2.3	Teräsrakenteiset hallit	14
2.4	Eurokoodit.....	16
3	MITOITUSTUTKIMUS.....	18
3.1	Rakennuksen esittely.....	18
3.2	Kehärakenteen pilarien ja palkkien staattinen tarkastelu	20
3.2.1	Kuormat, joilla kehä on aikoinaan laskettu	21
3.2.2	Euronormin mukaiset kuormat, joilla kehä nyt lasketaan	22
3.2.3	Käsin lasketut kuormat.....	23
3.2.4	Tukireaktiot.....	25
3.2.5	Pilarin voimasuureet ohjelmien välillä	26
3.2.6	Palkin voimasuureet.....	28
3.2.7	Nosturikonsolin voimasuureet	30
3.2.8	Teräspalkki 3 erillinen tarkastus	30
3.3	Mitoitustutkimuksen arviointi	31
4	OHJELMIEN KÄYTTÖ RAKENNESUUNNITTELUN TYÖVÄLINEENÄ	33
4.1	Revitin ulkoasu ja valikot	33
4.1.1	Revit mallinnustyökaluna	33
4.2	Revitin ja Robotin välinen linkitys	34
4.3	Robotin ulkoasu ja valikot	35
4.3.1	Robot rakenteiden mitoituksessa ja linkin toiminta.....	36
5	OHJEKIRJA REVITIN JA ROBOTIN YHTEISKÄYTTÖÄ.....	38
6	TYÖN TULOKSET JA POHDINTA	39
6.1	Tulokset.....	39
6.1.1	Havaintoja ohjelmistojen käytöstä.....	39
6.1.2	Mallin laadinta <i>Revitillä</i>	40
6.1.3	<i>Robotin</i> käyttö.....	40
6.1.4	Yhteiskäyttö	40

6.1.5 Ohjekirja	41
6.2 Pohdinta	41
LÄHTEET	44
KUVALUETTELO	45
TAULUKOT.....	45

LIITTEET

Liite 1 *Tera 4.0*:n mallikehän statiikka

Liite 2 *Jigin* mallikehän statiikka

Liite 3 *Robot Structural Analysis*:n mallikehän statiikka

Liite 4 *Dos-Teran* mallikehän statiikka

Liite 5 (julkistamaton) Ohjekirja ohjelmistojen käyttöönottamisesta esimerkkimallin avulla

1 JOHDANTO

Rakennusala elää parhaillaan murroskautta yhteisen eurooppalaisen rakenteiden mitoitusjärjestelmän *Eurocode*-standardien käyttöönoton vuoksi. Eurokoodien lisäksi rakennusalan suunnittelun vaatimukset ja odotukset lisääntyvät tietomallinnuksen käyttöönoton lisääntyessä.

Nykyisen 2D-piirtämisen eli *CAD*-suunnittelun lisäksi suunnittelutoimistolta vaaditaan 3D-malleja. 3D-mallintaminen ei ole vielä tullut pakolliseksi suunnitteluprojekteissa, mutta joissakin toimeksiannoissa sitä vaaditaan. Eli siirtymävaihe 3D-mallinnukseen on käynnissä.

Tietomallintaminen tuo lisähaasteita rakennusalan suunnittelutehtäviin. Ohjelmistojen kehittyessä ohjelmien opetteleminen helpottuu. Tietomallintaminen kehittyy koko ajan ja sillä pyritään helpottamaan suunnitelmien tekemistä entisestään. Tietomallin avulla tilaajaosapuoli näkee rakennuksen ”luonnollisen” näköisenä ja pystyy näin hahmotamaan paremmin rakennuksen arkkitehtonisen ilmeen. Rakennesuunnittelussa 3D-malli helpottaa rakenteiden liittymäratkaisujen suunnittelua. Tietomalliin pystytään sisällyttämään tietoa rakenteesta ja sen osista. Tietomalliin sisällytetty tieto pysyy yhdessä mallissa. Malliin sisältyy myös tietoa rakenteiden määristä, joten rakennukselle voidaan tehdä karkeaa kustannuslaskentaa.

Tietomallintamisesta ollaan tällä hetkellä kiinnostuneita. Opinnäytetöitä ja tutkimuksia liittyen tietomallintamiseen on jo tehty. Esimerkiksi suomalaisen *Teklan* ja yhdysvaltalaisen *Robot*-ohjelmiston yhteiskäyttöä teräsrakenteiden suunnittelussa on tutkittu keväällä 2010 Savonia-ammattikorkeakoulussa Tuomas Malisen opinnäytetyössä ”*Tekla Structuren ja Robotin yhteiskäyttö teräsrakenteiden suunnittelussa*”.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tuottaa ohjekirja *Revit Structure* ja *Robot Structural analysis* -ohjelmistoista ja niiden yhteiskäytöstä. Työssä käytetään mallirakenteenä olemassa olevaa teräsrakenteista teollisuushallia. Rakenne on laskettu aikoinaan DOS-pohjaisella *Tera*-ohjelmistolla, ja rakenne on vanhojen normien mukaan saatu kestävänsä. Kehä on kuitenkin saatujen käyttöasteiden perusteella kuormitettu kestävänsä ne kuormat mitä on suunniteltu sen alun perin kestävänsä. Rakenne lasketaan *Robotilla* ja voimasuureiden vertailua tehdään *Jigillä* ja *Robotilla*.

Työn tilaajana toimii rakennesuunnittelutoimisto Insinööritoimisto Savela Oy seinäjoelta. Insinööritoimistolla on käytössään molemmat edellä mainitut ohjelmat ja tavoite on siirtyä mallintavaan suunnitteluun.

Rakenteiden liitoksia ei tässä työssä käsitellä mutta kuormituksista tärkeimmät kuormitusyhdistelyt käsitellään. Opinnäytetyön tuloksissa esitetään laskentaohjelmista saadut voimasuureet ja *Robotin* käyttöasteet. Siirtymätarkastelu käsitellään pelkästään ohjekirjassa. Voimasuureiden vertailu tehdään siksi, että saataisiin tietoa siitä, laskevatko ohjelmat samalla tavoin. Työ rajataan myös niin, että *Revitistä*, *Robotista* ja niiden välisestä toiminnasta tehdään ohje, jossa käsitellään perusasioista, kuten pilarin ja palkin mallintaminen ja niistä syntyvän kehän laskeminen. Opinnäytetyön tuloksena saatu ohjekirja tulee ainoastaan Insinööritoimisto Savela Oy:n käyttöön, joten sitä ei julkaista tämän työn yhteydessä.

Työ aloitetaan laatimalla tietomalli *Revit Structure 2011* –ohjelmalla. *Revitillä* aikaansaatu malli siirretään *Robot Structural Analysis 2011* –mitoitusohjelmaan. Mitoitus suoritetaan malliin *Robotilla* ja tulokset siirretään takaisin *Revittiin*.

2 TIETOMALLINNUS RAKENNESUUNNITTELUSSA

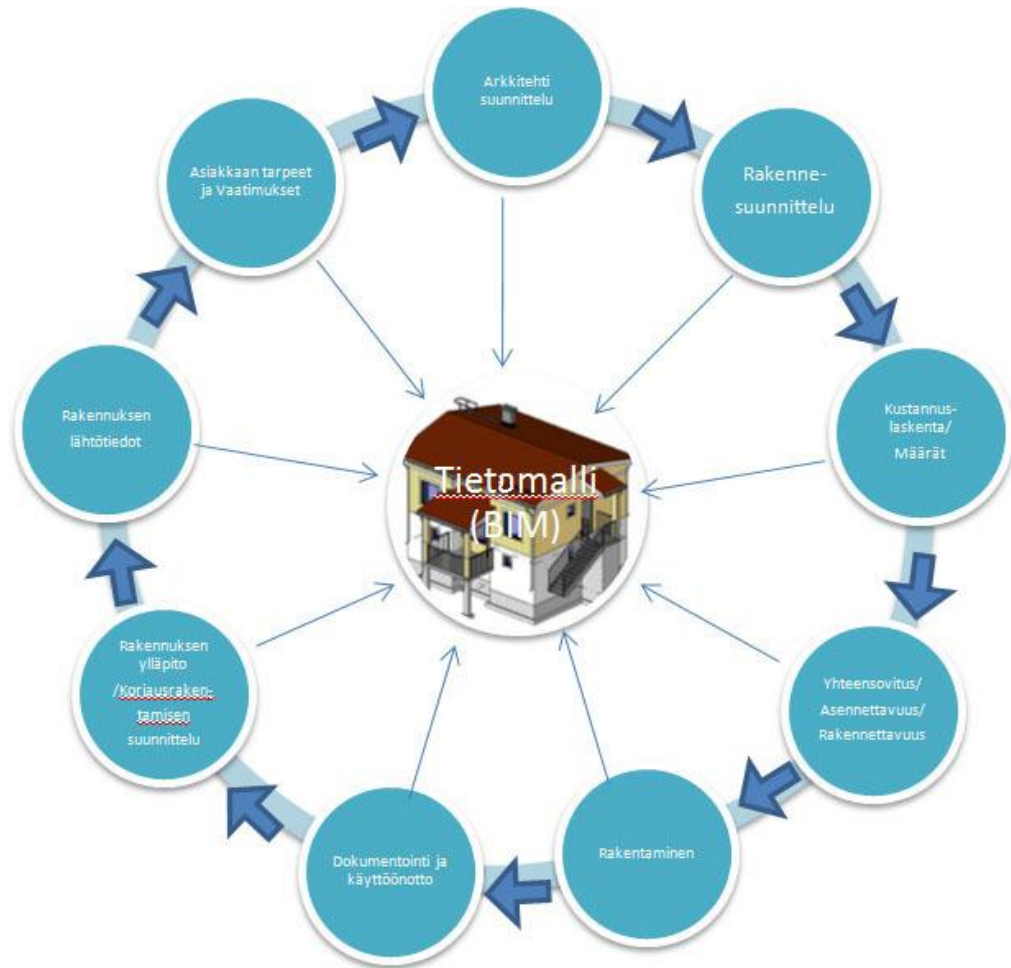
Tänä päivänä rakentamisen suunnittelussa eletään murrosvaihetta. Eurokoodeihin siirtyminen ja tietomallinnuksen lisääntyminen tuovat suunnittelutoimistoille uusia haasteita jo olemassa olevien haasteiden lisäksi. Suunnittelijoita pyritään ohjaamaan tietomallipohjaiseen suunnitteluun, koska sen tuoma hyöty suunnittelussa, rakentamisessa, rakennuksen käyttöönotossa ja käytönaikaisessa huoltamisessa on suuri. Tietomallinnusta käytetään vielä kuitenkin vähäisesti, koska sitä ei erityisesti vaadita käytettäväksi suunnittelukohteissa. Kiinnostus mallintavaan suunnitteluun kasvaa, koska ohjelmistojen käytettävyyttä helpotetaan entisestään. *Revit Structure* on rakennesuunnitteluun tarkoitettu ohjelmisto. *Robot*, *Jigi* ja *Tera 4.0* ovat ohjelmistoja, joilla voidaan suorittaa laskentaa ja mitoitusta yleisimmin käytetyillä rakennusmateriaaleilla kuten puu, teräs ja betoni. *Revit Structure* ja *Robot Structural Analysis* ovat yhdysvaltalaisen *Autodesk Inc.* ohjelmistoyrityksen mallinnus- ja laskentatyökaluja. *Tera* on suomalaisen ohjelmistoyrityksen *Teklan* valmistama rakenteiden laskentaohjelmisto. *Jigi* on myös suomalainen rakennesuunnitteluohjelmisto.

2.1 Tietomallintaminen

Tällä hetkellä suunnittelussa on käytössä hyvin yleisesti tietokonepohjainen 2D-suunnittelu eli *CAD*-suunnittelu. 3D-mallia piirrettäessä tieto tallentuu malliin ja muodostuu erilaisia luetteloita piirretyistä asioista. 3D-mallista pystytään luomaan tarvittavat piirustukset ja luettelot mallin luomisen jälkeen. (Senaattikiinteistöt 2011.)

Tietomalliin saadaan sisällytettyä paljon erityyppisiä asioita. Rakennettavan kohteen eri suunnittelualojen tiedot löytyvät yhdestä kolmiulotteisesta mallista ja näin suunnittelutyö helpottuu. Mallin tarkentaminen ja muutokset on helppo tehdä malliin suoraan ja muutoksien vaikutukset näkyvät kolmiulotteisuuden vuoksi kaikille suunnittelualoille selvästi. Suunnittelun havainnollistaminen kaikille osapuolille helpottuu ja näin ollen rakenteellisten ratkaisujen päätökset nopeutuvat ja tiedonvaihto projektissa nopeutuu. (Senaattikiinteistöt 2011.)

Alla olevasta kuvasta (kuva 1.) näkyy ajatuskarttana eri tietomallit kiinteistön elinkaarella.



Kuva 1. Tietomallit kiinteistön elinkaarella (Henttinen,T. 2011. Kuva Matti Passi. 2011)

Tietomallia pystytään hyödyntämään määräluetteloiden laadinnassa ja visualisoinnissa. Tietomallilla pystytään paremmin hallitsemaan suunnittelun isompaa kokonaisuutta. Tietomallin ansiosta pystytään tekemään myös luotettavaa kustannusarviota. Kustannuslaskenta on entistä tehokkaampaa ja mallinnuksen ansiosta samoilla resursseilla pystytään tekemään aiempaa enemmän. Laajoissa ja vaativissa kohteissa riskien hallinta on helpompaa kun kohteessa olevien rakenteiden riskikohdat selviävät jo suunnittelu- ja mallinnusvaiheessa. Kun mallia hyödynnetään tehokkaasti törmäystarkasteluissa ja rakennevarausten suunnittelussa, niin mahdolliset lisäkustannukset vähenevät havaitsemalla riskit ennen työmaata. (Senaattikiinteistöt 2011.)

Rakennesuunnittelussa tehdään ensin alustava rakennusosamalli. Mallin avulla tehdään rakenteiden mitoitus ilman liitoksia. Mallista saadaan alustavat määräluettelot, joiden pohjalta pystytään tekemään kustannuslaskentaa. Luonnosvaiheen rakennusosamallista pystytään tuottamaan erilaisia rakennemalleja, joita pystytään vertailemaan toisiinsa ja valitsemaan kustannustehokkain rakenneratkaisu. Alustavan mallin jälkeen kohteesta tehdään viimeistelty tietomalli, joka pohjautuu siis arkkitehdin malliin. Tämä malli sisältää liitostiedot, seinät, laatat, palkit, pilarit, ristikot ja betonirakenteissa mahdolliset raudoitustiedot. (Senaattikiinteistöt 2011.)

Osaajien puute ja varovainen asenne tietomallinnukseen näkyvät myös ohjelmistojen hitaassa käyttöönotossa (Syvärinen 2007.) Vanhemmat suunnittelijat eivät ehkä halua oppia uutta, koska vanhat opit ovat aina olleet tuttua ja turvallista toimintatapaa, ja aina uusien asioiden käyttöönotossa on tietynlaista muutosvastarintaa.

Tietomallintamisessa täytyy huolehtia mallin laadunvarmistuksesta. Mallin pitäisi täyttää kaikkien osapuolten sopimat asiat ja vielä niin että ajatusvirheitä tai väärinymmärryksiä eri asioiden käsittämisessä ei olisi. Mallin tietosisällön yhteistä kieltä ei varsinaisesti ole, joten suunnitteluprojektin alussa tulisi sopia kaikki tärkeimmät linjaukset ennen kuin ryhdytään mallin laadintaan. (Syvärinen 2007.) Lisäksi täytyy muistaa tekijänoikeusasiat, joita on hyvin vaikea määrittää kun olemassa on vain yksi malli ja monta tekijää.

2.2 Ohjelmistoista

2.2.1 Revit Structure

Revit Structure on amerikkalaisen ohjelmistoyritys *Autodeskin* suunnittelema ohjelmisto rakenteiden tietomallinnukseen. *Revitillä* voidaan käsitellä rakennusmalleja ja jalostaa mallien sisältämät rakenteet viimeistellyiksi rakennesuunnitelmiksi, piirustuksiksi ja luetteloiksi. Lujuuslaskentaa voidaan tehdä missä vaiheessa tahansa suunnitteluprosessin aikana, koska *Revit* pitää yllä koko ajan sekä rakenne- että laskentamallin. *Autodeskin* tuotteet ovat maailmanlaajuisesti tunnettuja ja hyvin yleisesti käytössä rakennustekniikan suunnittelualoilla. (Virtualsystems 2011.)

2.2.2 Robot Structural Analysis

Robot Structural Analysis on myös *Autodeskin* omistama ohjelmisto, jolla pystytään tekemään kolmiulotteinen malli ja suorittamaan sille rakenteiden lujuusanalyysia ja mitoittamista. *Robotilla* voidaan tehdä minkä tahansa rakenteen lujuuslaskentaa. Teräs, betoni ja puu kuuluvat automaattisesti ohjelmiston materiaalikirjastoon. *Robottiin* pystytään tuomaan *Autodeskin Revit Structurella* tehty valmis malli. *Robotilla* suoritettun mitoituksen jälkeen mallin mitoitus tiedot voidaan siirtää takaisin *Revit Structureen* ja jatkaa sillä rakennesuunnittelua. *Robot*-ohjelmisto käyttää myös avointa ohjelmistopintaa (API) ja siksi siihen voidaan tuoda myös valmis malli mitoitettavaksi muistakin rakennemallinnusohjelmistoista, kuten esimerkiksi *Tekla Structuresta*. *Robot*-ohjelmiston suorittamasta laskennasta tiedot pystytään tallentamaan myös *Microsoft Officeen Word* ja *Excel*-muotoihin. Ohjelmisto käyttää laskennassa elementtimenetelmää (*FEM= Finite element method*). *Robot Structural analysis* laskentaohjelmisto on käytössä hyvin laajasti eri puolilla maailmaa rakennesuunnittelutoimistoissa. (Virtual-systems 2011.)

2.2.3 Jigi

Jigi on uusimpia suomalaisia ohjelmia rakenteiden rasitusten ja kestävyys laskemiseksi. *Jigin* statiikkamoduuli perustuu 3D-elementtimenetelmään. Mitoitusmoduulit perustuvat Eurokoodin uusimpaan EN-versioon ja kansallisiin liitteisiin. Insinööritoimistossa käytössä on vain kokeiluversio, joten teräsmitoitusta ei voida suorittaa kyseisen ohjelmiston demoversiolla. *Jigi* ohjelmistolla on kasvava käyttäjäkunta. (Jigi-soft 2011.)

2.2.4 Tera 4.0

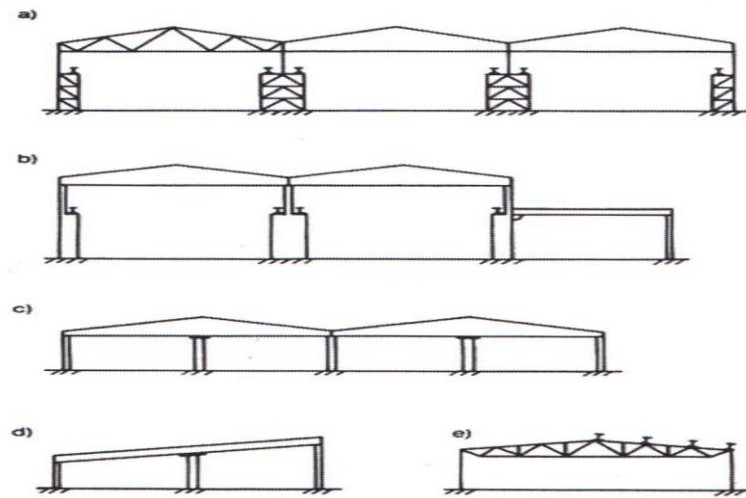
Tera on suomalaisen ohjelmisto yritys *Tekla Oy:n* yksi vanhimmista rakenteiden laskentaohjelmista. *Tera* on edelleen käytössä monissa suomalaisissa rakennesuunnittelutoimistoissa rakenteiden suunnittelussa. *Tera* mahdollistaa erilaisten kehärakenteiden laskemisen, mutta kolmiulotteista mallia ei pysty *Teralla* laatimaan. *Tera* ohjelmistosta löytyy hyvin vähän tietoa, myöskään *Teklan* nettisivuilla ei mainita ohjelmasta, joten tietoa ohjelman statiikkamodulista ei ole. Teräsmitoitusta tapahtuu kuitenkin vielä *Suomen rakentamismääräyskokoelman B-osan* normien mukaisesti. *Tekla* eli *Teknillinen laskenta Oy* on perustettu vuonna 1966 palvelemaan ohjelmillaan insi-

nööritoimistoja. Alun perin ohjelmat perustuivat pitkälti laskennalliseen puoleen ja nyt rakennusalan vaatimusten mukaisesti *Tekla Oy* on yksi mallintamisohjelmien tuottamisen edelläkävijöitä. (Tekla Oy, 2011.)

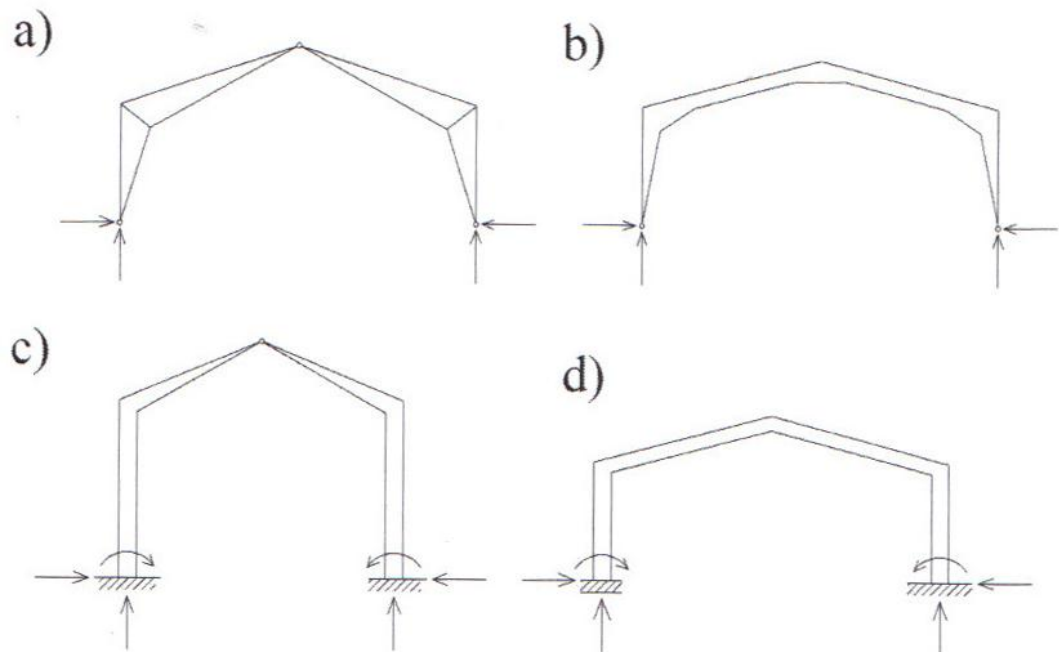
2.3 Teräsrakenteiset hallit

Teräsrakenteisia halleja voidaan tehdä erilaisin runkoratkaisuin. Rungon rakenteena voidaan käyttää kehäjäykistystä. Kehätyypit jaotellaan mastokehiin, nivelkantaisiin kehiin, jäykkäkantaisiin kehiin ja jäykkänurkkaisiin kehiin. Teräsrakenteisille kehärakenteille on ominaista, että rakenneosiin vaikuttaa samanaikaisesti sekä taivutusmomenttia että normaalivoimaa, joten joudutaan tekemään kehänvalinta useiden vaihtoehtojen pohjalta. Kehärakenteissa suurimmat taivutusmomentit esiintyvät nurkissa, joissa normaalisti käytetään asennusliitosta ja siksi kehän nurkkien rakenteen toteuttaminen on haastavaa. Liitokset on valmistettava niin, että ne ovat luotettavia ja taloudellisia momentin välittäjiä. Usein yksilaivaisten hallien rungon kehätyyppinä on käytetty kolmi- ja kaksinivelkehiä. Tavallisimpia yksikerroksisten rakennusten kehätyyppejä ovat perustuksiin kiinnitetyt pilarit ja niiden päälle nivelellisesti kiinnitetyt jatkuvat tai yksinkertaiset palkit. Ristikko tai palkki voidaan tukea myös jäykästi pilariin, jolloin se olisi jäykkäkantainen kehä. Suomessa myymälä, teollisuushalli ja pihatto-rakentamisessa rungon rakenteena on hyvin yleisesti käytössä nivelellisesti pilarin päälle kiinnitetty yksinkertainen tai jatkuva palkki. (Teräsrakenneyhdistys ry 2010.)

Kuvassa 2 on esitetty tyypillisimmät mastokehät. Usein suunnittelujen lähtötiedoissa asetetut vaatimukset rakennuksen sisätilan mitoille kuten esimerkiksi hallin korkeudelle, vaikuttaa kehärakenteen valintaan. (Teräsrakenneyhdistys ry 2010.)

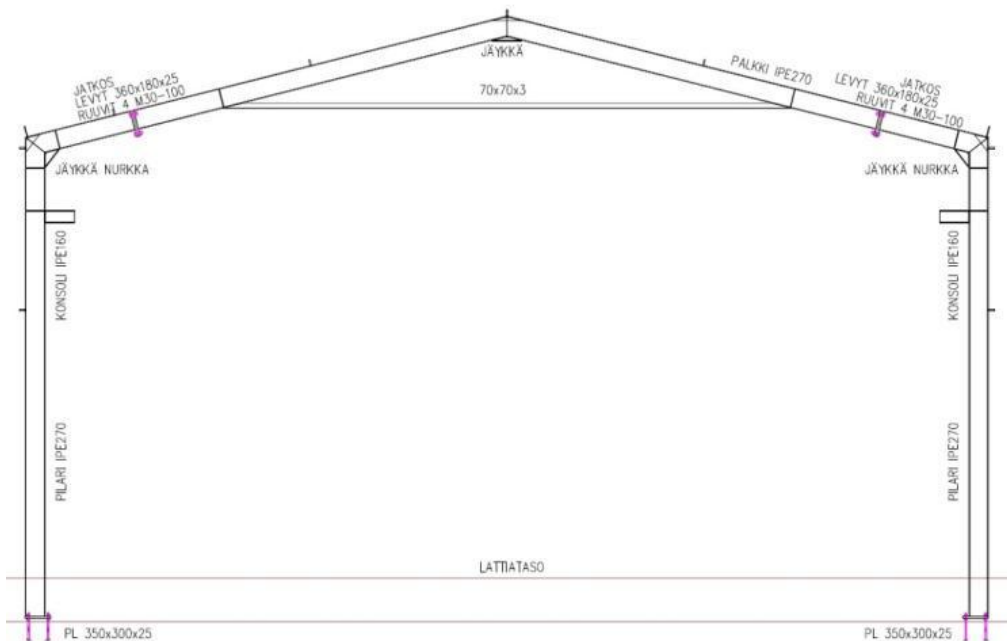


Kuva 2. Tyypillisiä mastokehiä, joissa mastopilari liittyy nivelellisesti ristikkoon tai palkkiin (Teräsrakenneyhdistys ry 2010.)



Kuva 3. Yksilaivaisten hallien jäykkänurkkaisia kehiä: a)kolminivelkehä b)kaksinivelkehä c) jäykkäkantainen kehä lakinivelellä d)jäykkäkantainen kehä (Teräsrakenneyhdistys ry 2010.)

Tämän insinööritöön tekemiseen mallina käytetty jo olemassa oleva teräsrakenteinen teollisuushalli on kaksinivelkehä (kuvassa 3, kehä b), missä sivuttaisia siirtymiä estää nivelellisesti kiinnitetty poikkitanko palkkien välissä. (kuva 4.)



Kuva 4. Insinööriyössä mallina käytettävä jäykkäkantainen kehä.

2.4 Eurokoodit

Rakennusallalla eletään murroskautta yhteisen eurooppalaisen rakenteiden mitoitusjärjestelmän *Eurocode-standardien*, käyttöönoton vuoksi. Eurokoodit ovat kantavia rakenteita koskevia standardeja, joita ohjaa ja valvoo *Euroopan standardointijärjestö* (CEN). Eurokoodi-standardeja on tehty täydentämään ns. kansalliset liitteet (NA), jotka sitten mukailevat kunkin maan olosuhteista ja rakentamisen perinteistä johtuvaa rakentamistapaa. Eurokoodit ovat ns. yhtenäistämistä standardeja, joilla pyritään yhtenäistämään Euroopan unionin eri maiden välistä rakennesuunnittelua ja näin ollen pyritään helpottamaan kansainvälistä yhteistyötä ja syntyy paremmin kilpailua rakennusallalla. Suomessa kansallisen liitteen tekemisestä vastaa ympäristöministeriö. Lumi-, hyöty-, tuuli-, lämpö-, onnettomuus-, ja nosturikuormat ovat sisällytetty Eurokoodien varmuuden määrittämisperiaatteisiin ja rakennusmateriaaleille on myös omat erilliset ohjeensa. (Eurokoodi help desk, 2011.)

Tässä työssä laskemiseen käytetään vain teräsrakenteita koskevia standardeja eli viimeisintä standardia: *SFS-EN 1993-1-1 Eurocode 3: Teräsrakenteiden suunnittelu ja toteuttaminen*. Teräsrakenneyhdistys ry on tehnyt oman *Eurocode 3* -oppikirjan teräsrakenteiden suunnittelua ja mitoitusta varten, mitä myös tässä opinnäytetyössä käytetään apuna. Eurokoodi Help Desk:n mukaan rakentamismääräyskokoelman B-sarjan muuttaminen eurokoodiyhteensopivaksi on edelleen käynnissä ja tästä syystä

eurokoodien ja rakentamismääräyskokoelman rinnakkaiskäyttö jatkuu ainakin vuoden 2013 alkuun, jolloin uudistuneen B-sarjan oletetaan olevan valmis. Eurokoodeja voi kuitenkin käyttää ja B-sarjan uudistumista ei tarvitse näiltä osin odottaa. Alkuperäisen suunnitelman mukaan Eurokoodi standardi piti tulla käyttöön ainoaksi suunnittelunormiksi jo keväällä 2010, mutta B-sarjan uudistumistyöt ovat koko ajan hieman viivästyneet. ENV-esistandardien käyttö päättyi 30.3.2010. (Eurokoodi help desk, 2011.)



Kuva 5. Eurocode eli eurooppalainen yhtenäistämisstandardi tulee väistämättä osaksi rakennesuunnittelua. (Kuva Matti Passi 2011.)

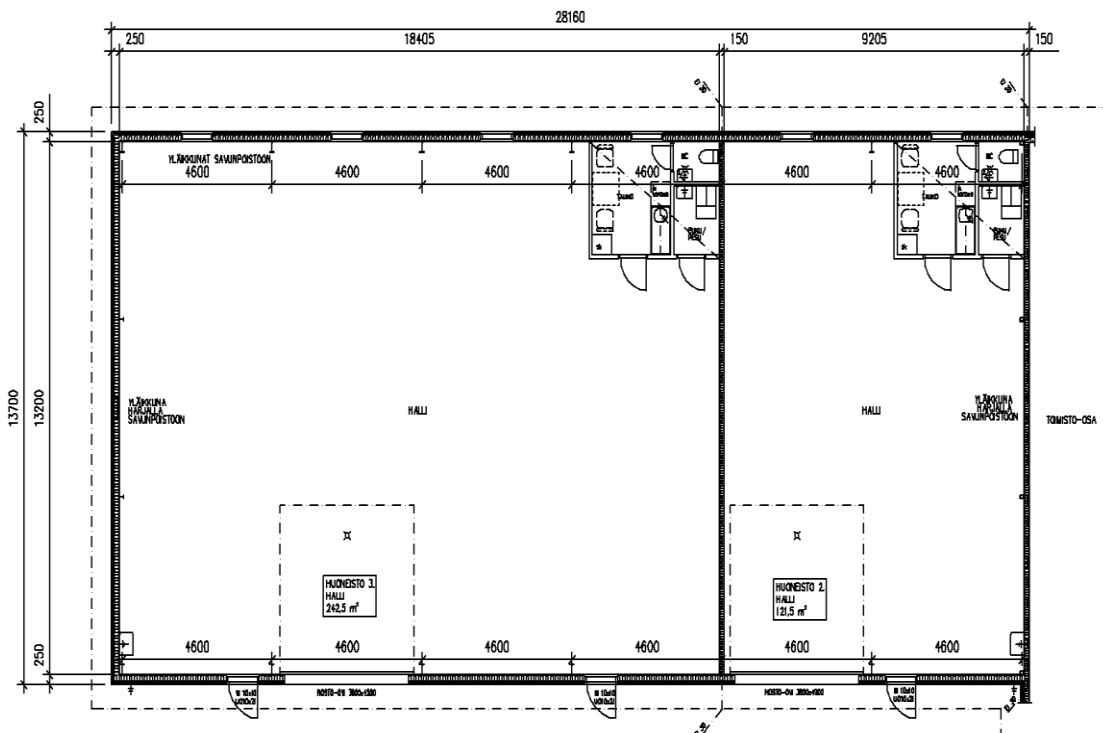
3 MITOITUSTUTKIMUS

3.1 Rakennuksen esittely

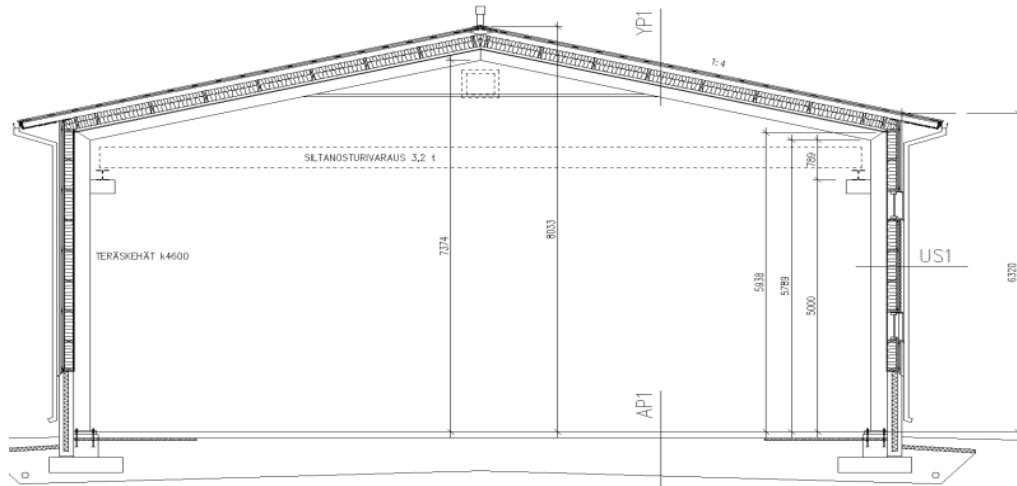
Seuraavassa kappaleessa esitellään teräsrakenteinen teollisuushalli, jota on tässä opinnäytetyössä käytetty esimerkkinä ohjekirjan ja mitoituslaskelmien tekemisessä.

Teollisuushalli on suunniteltu ja rakennettu vuonna 2002. Kehän pilareina ja palkkeina on käytetty IPE 270 teräs profiilia. Nosturikonsolit ovat IPE 160 teräsprofiileja. Kehää jäykistävä tanko on teräsputki profiili 70x70x3,0. Pilarit on kiinnitetty nivelellisesti alustaansa. Kehä on jäykkä liitoksistaan ja jäykistävä tanko on nivelellisesti kiinnitetty. Kehän sivuttaistuet ovat kattopalkit k900 jaolla ja seinän poikittaispalkit k600 jaolla ja ne jäykistävät kehää. Teollisuushallin yksi kehäväli on jäykistetty myös terästangoon.

Alemmassa kuvassa (kuva 6) on esitetty teollisuushallin pohjapiirustus, jossa näkyvät hallin päämitat ja kehän pilarijako. Kuvassa 7 on leikkaus teollisuushallista.



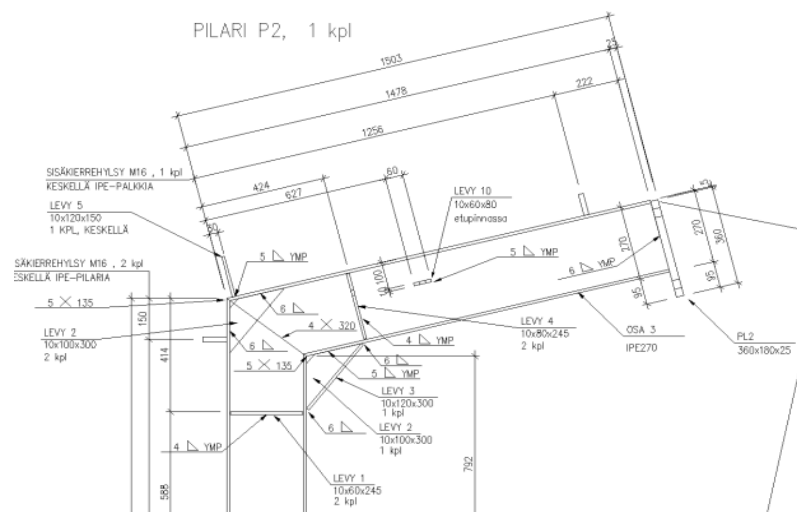
Kuva 6. Teollisuushallin pohjapiirustus



Kuva 7. Leikkaus teollisuushallista

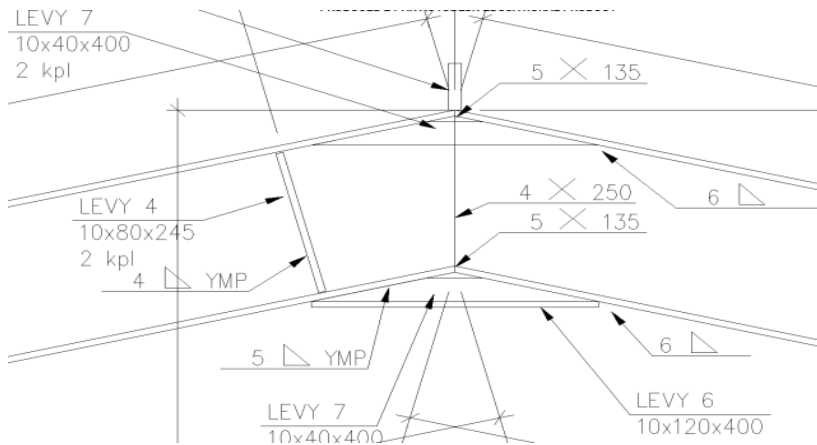
Teollisuushalli on kuvassa jaettu kahteen osaan osastoivalla seinällä, mutta se on tällä hetkellä käytössä kokonaisuudessaan yhtenä tuotantotilana. Hallin vasen pääty (kuvasta 6 katsottuna) on tehty siten, että hallia on mahdollista laajentaa, eli samantaisella kehärakenteella mitä hallin keskiosassa on käytetty. Oikeassa päädyssä on sitten teräspalkkiprofiililla toteutettu kehä tuulipilareineen.

Kehän asennusliitos on tehty palkkiin siten, että sille kohdistuisi mahdollisimman vähän momenttia, eli se on sijoitettu palkissa, momentin nollakohtaan n. 1 500 mm:n päähän pilarin päästä palkin puoltaväliä kohti. Pilarin ja palkin nurkkaliitos on jäykistetty siten että nurkkiin on lisätty 10 mm:n vahvuiset uumavahvikkeet ympäri nurkan (kuva 8).



Kuva 8. Kehän nurkkaliitos

Palkkien harjaliitos on myös jäykkä ja liitoskohtaa on myös vahvistettu 10 mm:n uumavahvikkein (kuva 9).



Kuva 9. Kehän harjaliitos

3.2 Kehärakenteen pilarien ja palkkien staattinen tarkastelu

Pilari ja palkki mitoitetaan *Robotilla*, *Teralla* ja *Jigillä*. Tuloksia vertailemalla saadaan tietoa mitoituksen luotettavuudesta. Rakennemallina käytetään Insinööritoimisto Savelasta saatua kehärakennetta. Kehärakenteessa on teräspilarit ja palkit. Kehää kuormittaa myös nosturi. Palkkien päälle mallinnettiin lumikuorma ja katon kuorma. Pilareita kuormittaa myös nosturikuorma ja tuulikuorma. Kuormitustapauksina käytetään murtorajatilassa

KT1: $1,15x_{\text{omap}} + 1,5x_{\text{tuuli}} + 1,05x_{\text{nosturi}} + 1,05x_{\text{lumi}}$

KT2: $1,15x_{\text{omap}} + 1,5x_{\text{nosturi}} + 1,05x_{\text{lumi}} + 0,9x_{\text{tuuli}}$

KT3: $1,15x_{\text{omap}} + 1,5x_{\text{nosturi}} + 1,05x_{\text{lumi}}$

ja käyttörajatilassa

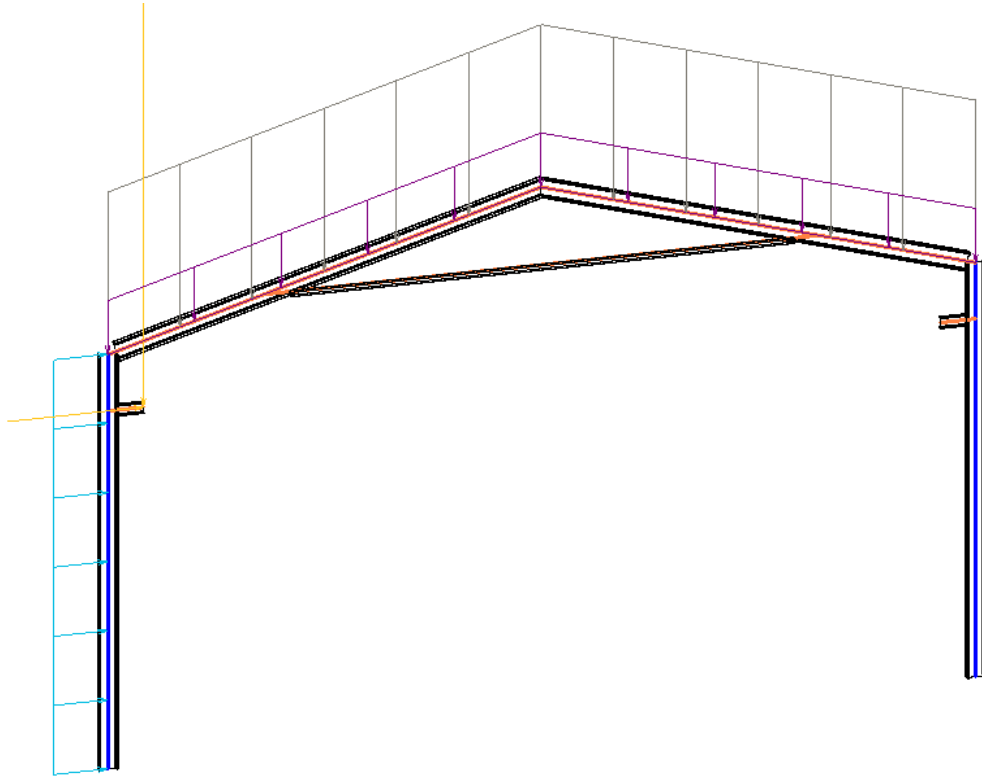
KT4: $1,00x_{\text{omap}} + 1,00x_{\text{nosturi}} + 0,7x_{\text{lumi}}$

KT5: $1,00x_{\text{omap}} + 1,00x_{\text{tuuli}} + 0,7x_{\text{nosturi}} + 0,7x_{\text{lumi}}$

Tehdään myös teräspalkille 3 erillinen tarkastus murtorajatilan kuormitustapauksena,

Niin että lumi on määräävänä muuttuvana kuormana

KT6: $1,15x_{\text{omap}} + 1,5x_{\text{lumi}} + 1,05x_{\text{nosturi}} + 0,9x_{\text{tuuli}}$



Kuva 10. Valmis tietomalli

3.2.1 Kuormat, joilla kehä on aikoinaan laskettu

Kuormitukset	
Lämpöeristetty kattoelementti	$g=0,5\text{kN/m}^2$
Ripustuskuorma	$g=0,1\text{kN/m}^2$
Lumikuorma	$q=1,6\text{kN/m}^2$
Tuulikuorma	$F_{w,k}=0,45\text{kN/m}^2$
Nosturi(siltanosturi)	$P_{dmax}=25,1\text{kN/pyörä}$ $P_{hor}=3,4\text{/pyörä}$

Kuormitukset kehää kohti k4600	
katto + ripustukset	$g=2,76\text{kN/m}$
Lumikuorma	$q=7,36\text{kN/m}$
Tuulikuorma	$q_{w,k}=2,07\text{kN/m}$
Nosturi(siltanosturi)	$P_d=50,2\text{kN}$ $P_H=6,8\text{kN}$

3.2.2 Euronormin mukaiset kuormat, joilla kehä nyt lasketaan

Katon omapaino $=0,5\text{kN/m}^2$

Ripustukset $=0,1\text{kN/m}^2$

Lumikuorma $=1,8\text{kN/m}^2$

Tuulikuorma $F_{w,k} = c_1 \times q_k(h) \times A_{ref}$

$q_k(h)=0,45\text{kN/m}^2$ (maastoluokka II, rakennuksen kork. 8m)

$c_1=1,3$ (umpinainen rakennus yleensä)

$F_{w,k}=1,3 \times 0,45\text{kN/m}^2 =0,585\text{kN/m}^2$

Nosturikuorma(siltanosturi) $P_{dmax}=25,1\text{kN/pyörä}$

$Phor=3,4/\text{pyörä}$

Kuormitukset	
Lämpöeristetty kattoelementti	$g=0,5\text{kN/m}^2$
Ripustuskuorma	$g=0,1\text{kN/m}^2$
Lumikuorma	$q=1,8\text{kN/m}^2$
Tuulikuorma	$F_{w,k}=0,585\text{kN/m}^2$
Nosturi(siltanosturi)	$P_{dmax}=25,1\text{kN/pyörä}$
	$Phor=3,4/\text{pyörä}$

Kuormitus kehää kohti k4600

Katon paino+ripustus $g=4,6\text{m} \times 0,6\text{kN/m}^2=2,76\text{kN/m}$

Lumikuorma $q=4,6\text{m} \times 1,8\text{kN/m}^2 =8,28\text{kN/m}$

Tuulikuorma $q_{w,k}=4,6\text{m} \times 0,585\text{kN/m}^2 =2,691\text{kN/m}$

Nosturikuorma $P_{d\downarrow}=50,2\text{kN}$

$PH\rightarrow=6,8\text{kN}$

Kuormitukset kehää kohti k4600	
katto +	$g=2,76\text{kN/m}$
ripustukset	
Lumikuorma	$q=8,28\text{kN/m}$
Tuulikuorma	$q_{w,k}=2,691\text{kN/m}$
Nosturi(siltanosturi)	$P_d=50,2\text{kN}$
	$PH=6,8\text{kN}$

3.2.3 Käsin lasketut kuormat

Teollisuushallin jännemitta on 13 200 mm

Tukireaktio N_k tuella 1:

Katosta+ripustuksilta tulevat kuormat $g_k=(2,76\text{kN/m} \times 13,2\text{m})/2 = 18,22\text{kN}$

Lumikuorma $q_k= (8,28\text{kN/m} \times 13,2\text{m})/2 = 54,65\text{kN}$

Nosturi $q_k= n. 50,2\text{kN}$

Rakenteen paino $n. 0,75\text{kN/m} : (0,75\text{kN/m} \times 13,2\text{m})/2=4,95\text{kN}$

$N_k=18,22\text{kN}+54,65\text{kN}+50,2\text{kN}+4,95\text{kN}=128\text{kN}$

$KT1 \ N_d=1,15 \times (18,22\text{kN}+4,95\text{kN})+1,05 \times 54,65\text{kN}+1,05 \times 50,2\text{kN}=134\text{kN}$

$KT2 \ N_d=1,15 \times (18,22\text{kN}+4,95\text{kN})+1,05 \times 54,65\text{kN}+1,5 \times 50,2\text{kN}=159,3\text{kN}$

$KT3 \ N_d=1,15 \times (18,22\text{kN}+4,95\text{kN})+1,05 \times 54,65\text{kN}+1,5 \times 50,2\text{kN}=159,3\text{kN}$

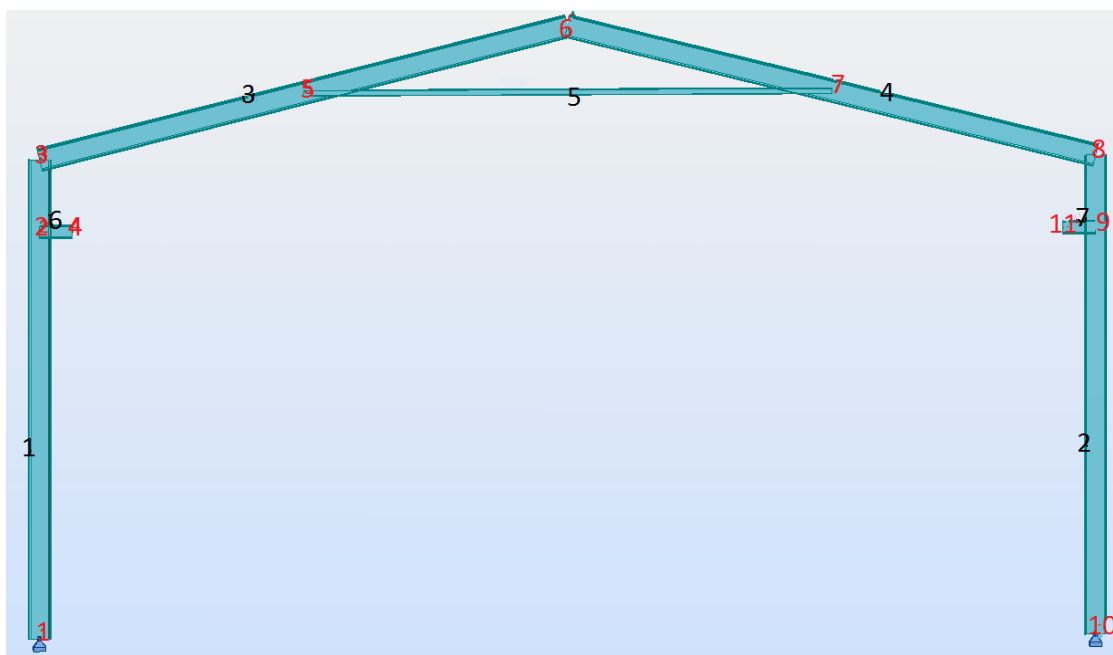
Tukireaktion laskennassa ei otettu huomioon tuulesta aiheutuvaa normaalivoimaa, joka siis lisää tässä tapauksessa kehän toisella puolella hieman tukireaktion suuruutta ja vähentää taas toisella puolella kehää. Tukireaktioita on vertailtu alempana (taulukko 1) Robotin laskentaan nähden.

Mitoitustutkimus tehtiin neljällä eri laskentatavalla ja tulokset on esitetty taulukoituina. Tuloksia on verrattu insinööriyön pääaiheena olevan *Robotin* laskentaan. Eroavaisuudet on ilmoitettu prosentteina.

Taulukko 1. Tukireaktiot tuella 1, vertailu Robotin ja käsinlaskennan välillä

KT 1	Robot	Käsinlasku	Erotus %
Nd	125,57kN	134kN	+6,7
KT 2			
Nd	149,09kN	159,3kN	+6,85
KT 3			
Nd	153,31kN	159,3kN	+3,9

Robotin tukireaktiot poikkeavat vain vähän käsinlaskennan tuloksesta. Momenttia ei lasketa, koska kyseessä on jäykkäkantainen kehä ja momenttia on vaikea arvioida laskemalla pilaria esim. mastopilarina. Kehä pitäisi laskea staattisesti määräämättömän kehrakenteen laskukaavoilla.



Kuva 11. Kehärakenne Robotista

Kuvassa 11 on esitetty *Robotista* saatu kuva, missä esitetään pilareiden, palkkien ja solmupisteiden numeroinnit. Kehän solmupisteet 1,10,5 ja 7 ovat niveliä. Kehän muut solmupisteet ovat jäykkiä.

3.2.4 Tukireaktiot

Taulukossa 2 on esitetty ohjelmien antamat tukireaktiot. Tukireaktioita on verrattu *Robotin* antamaan tulokseen. Tuloksien välinen ero on ilmoitettu prosentteina. Tuloksia on tarkasteltu Eurokoodin mukaisilla kuormitustapauksilla KT1, KT2 JA KT3.

Taulukko 2. Tukireaktiot tuella 1 ja 10

KT 1	Robot	Jigi	Tera	Tera (Vanha)	Jigi ero %	Tera ero %	Teran ero % (Vanha)
TUKI 1 FZ	125,57kN	120,76kN	123,26kN	116,63kN	-3,8	-1,8	-7,1
TUKI 2 FZ	95,74kN	90,93kN	93,46kN	86,15kN	-5	-2,4	-10
KT 2							
TUKI 1 FZ	149,09kN	144,28kN	146,78kN	140,71kN	-3,2	-1,5	-5,6
TUKI 2 FZ	94,81kN	89,99kN	92,53kN	84,67kN	-5,1	-2,4	-10,7
KT 3							
TUKI 1 FZ	153,31kN	148,49kN	151,03kN	145,58kN	-3,1	-1,5	-5
TUKI 2 FZ	90,59kN	85,775kN	88,3kN	79,69kN	-5,3	-2,5	-12

Tuloksien perusteella voidaan todeta, että tukireaktiot ovat lähes yhtenäiset. Prosentuaalinen ero on vähäinen *Robotin*, *Jigin* ja *Teran* välillä. DOS-pohjaisen *Teran* tukireaktiot poikkeavat vähän enemmän muusta laskennasta. Erot pysyvät kuitenkin 10 % tuntumassa.

3.2.5 Pilarin voimasuureet ohjelmien välillä

Taulukossa 3 on esitetty ohjelmien antamat voimasuureet teräspilarille 1. Voimasuureita on verrattu *Robotin* antamaan tulokseen. Tuloksien välinen ero on ilmoitettu prosentteina. Tuloksia on tarkasteltu Eurokoodin mukaisilla kuormitustapauksilla KT1, KT2 JA KT3.

Taulukko 3. Teräspilarin 1 statiikka

KT 1	Robot	Jigi	Tera	Tera (Vanha)	Jigin ero %	Teran ero %	Teran ero % (Vanha)
Nd	125,57kN	120,76kN	123,26kN	116,63kN	-3,8	-1,8	-7,1
Md	26kNm	23kNm	23,3kNm	16,73kNm	-11,5	-10,4	-35,7
KT 2							
Nd	149,09kN	144,28kN	146,78kN	140,71kN	-3,2	-1,5	-5,6
Md	38,8kNm	36kNm	36,3kNm	30,73kNm	-7,2	-6,4	-20,7
KT 3							
Nd	153,31kN	148,49kN	151,03kN	145,58kN	-3,1	-1,5	-5
Md	67,40kNm	65kNm	64,92kNm	54,32kNm	-3,5	-3,6	-19,4

Tuloksista voidaan todeta, että voimasuureiden erot ovat pieniä. Prosentuaalinen ero on vähäinen *Robotin*, *Jigin* ja *Teran* välillä. DOS-pohjaisen *Teran* tulokset poikkeavat vähän enemmän muusta laskennasta. Voimasuureellisesti ero on n. 10 kN normaali-voimana ja n. 12 kNm momenttina *Robotin* tulokseen nähden. Kuormitustapauksessa 1 prosentuaalinen ero on n. 36 %.

Taulukossa 4 on esitetty ohjelmien antamat voimasuureet teräspilarille 2. Voimasuureita on verrattu *Robotin* antamaan tulokseen. Tuloksien välinen ero on ilmoitettu prosentteina. Tuloksia on tarkasteltu Eurokoodin mukaisilla kuormitustapauksilla KT1, KT2 JA KT3.

Taulukko 4. Teräspilarin 2 statiikka

KT 1	Robot	Jigi	Tera	Tera (Vanha)	Jigin ero %	Teran ero %	Teran ero % (Vanha)
Nd	95,74kN	90,93kN	93,46kN	86,15kN	-5	-2,4	-10
Md	173,57kNm	170kNm	170,75kNm	154,31kNm	-2,1	-1,6	-11
KT 2							
Nd	94,81kN	89,99kN	92,53kN	84,67kN	-5,1	-2,4	--10,7
Md	166,4kNm	163kNm	163,57kNm	144,33kNm	-2	-1,7	-13,3
KT 3							
Nd	90,59kN	85,775kN	88,30kN	79,69kN	-5,3	-2,5	-12
Md	139,30kNm	136kNm	136,42kNm	114,14kNm	-2,4	-2,1	-18

Tuloksista voidaan todeta, että voimasuureiden erot ovat pieniä. Prosentuaalinen ero on vähäinen *Robotin*, *Jigin* ja *Teran* välillä. DOS-pohjaisen *Teran* tulokset poikkeavat vähän enemmän muusta laskennasta, mutta jostain syystä kuitenkin ero *Robottiin* on pienempi kuin teräspilarilla 1. Erot *Robottiin* nähden jäävät alle 20 %.

3.2.6 Palkin voimasuureet

Taulukossa 5 on esitetty ohjelmien antamat voimasuureet teräspalkille 3. Voimasuureita on verrattu *Robotin* antamaan tulokseen. Tuloksien välinen ero on ilmoitettu prosentteina. Tuloksia on tarkasteltu Eurokoodin mukaisilla kuormitustapauksilla KT1, KT2 JA KT3.

Taulukko 5. Teräspalkin 3 statiikka

KT 1	Robot	Jigi	Tera	Tera (vanha)	Jigin ero %	Teran ero %	Teran ero % (Vanha)
Vd	62kN	60kN	61,99kN	56,91kN	-3,23	-0,02	-8,2
Nd	185kN	179kN	177,31kN	149,9kN	-3,24	-4,16	-18,97
Md	114,33kNm	112kNm	111,98kNm	93,45kNm	-2,04	-2,06	-18,26
KT 2							
Vd	62,85kN	61kN	61,76kN	56,67kN	-2,94	-1,73	-9,8
Nd	186,62kN	180kN	185,77kN	146,38kN	-3,55	-0,46	-21,56
Md	112,34kNm	110kNm	110kNm	85,47kNm	-2,08	-2,08	-23,92
KT 3							
Vd	67,55kN	65kN	67,69kN	58,08kN	-3,77	+0,21	-14,0
Nd	189,48kN	183kN	189,68kN	155,04kN	-3,42	+0,11	-18,18
Md	100,57kNm	98kNm	98,25kNm	70,11kNm	-2,56	-2,31	-30,28

Tuloksista voidaan todeta, että voimasuureiden erot ovat pieniä. Prosentuaalinen ero on vähäinen *Robotin*, *Jigin* ja *Teran* välillä. DOS-pohjaisen *Teran* tuloksissa kuormitustapauksessa 3 voidaan havaita momentin osalta n. 30% ero, mikä on isohko voimasuureellisestikin n. 30 kNm.

Taulukossa 6 on esitetty ohjelmien antamat voimasuureet teräspalkille 4. Voimasuureita on verrattu *Robotin* antamaan tulokseen. Tuloksien välinen ero on ilmoitettu prosentteina. Tuloksia on tarkasteltu Eurokoodin mukaisilla kuormitustapauksilla KT1, KT2 JA KT3.

Taulukko 6. Teräspalkin 4 statiiikka

KT 1	Robot	Jigi	Tera	Tera (Vanha)	Jigin ero %	Ter-an ero %	Teran ero % (Vanha)
Vd	84,2kN	82kN	76,34kN	77,20kN	-2,61	-9,33	-8,31
Nd	190,59kN	184kN	196,18kN	164kN	-3,46	+2,93	-13,95
Md	173,57kNm	170kNm	170,75kNm	154,31kNm	-2,06	-1,62	-11,10
KT 2							
Vd	83,25kN	81kN	75,57kN	75,98kN	-2,70	-9,23	-8,73
Nd	191,72kN	185kN	196,17kN	164,56kN	-3,51	+2,32	-14,17
Md	166,40kNm	163kNm	167,114kNm	144,33kNm	-2,04	+0,43	-13,26
KT 3							
Vd	79,75kN	77kN	71kN	72,24kN	-3,45	-11,0	-9,42
Nd	192,54kN	186kN	192,74kN	163,79kN	-3,40	-0,10	-14,93
Md	139,30kNm	136kNm	136,42kNm	114,14kNm	-2,37	-2,07	-18,06

Tuloksista voidaan todeta, että voimasuureiden erot ovat pieniä. Prosentuaalinen ero on vähäinen *Robotin*, *Jigin* ja *Teran* välillä. DOS-pohjaisen *Teran* tuloksissa erot ovat pääosin alle 15 %.

3.2.7 Nosturikonsolin voimasuureet

Taulukossa 7 on esitetty ohjelmien antamat voimasuureet teräspalkille 6, eli nosturikonsolille. Voimasuureita on verrattu *Robotin* antamaan tulokseen. Tuloksien välinen ero on ilmoitettu prosentteina. Tuloksia on tarkasteltu Eurokoodin mukaisilla kuormitustapauksilla KT1, KT2 JA KT3.

Taulukko 7. Teräspalkin 6 statiikka kuormitustapauksissa 1 ja 2

KT 1	Robot	Jigi	Tera	Jigin ero %	Teran ero %
Vd	52,78kN	52,78kN	52,78kN	0	0
Md	21,10kNm	21,10kNm	21,10kNm	0	0
KT 2					
Vd	75,37kN	75,37kN	75,37kN	0	0
Md	30,13kNm	30,13kNm	30,13kNm	0	0

Voimasuureet eivät poikkea toisistaan. Tulos teräspalkin 6 osalta oli odotettavissa, mutta tarkistuksen kannalta tulokset kannatti katsoa ohjelmista.

3.2.8 Teräspalkki 3 erillinen tarkastus

Taulukossa 8 on tutkittu teräspalkki 3 kuormitustapauksessa 6, jossa lumikuorma on määräävänä muuttuvana kuormana. Palkki tarkasteltiin kuormitustapaukselle 6, koska lumi määräävänä kuormitustapauksena antaa pahimman kuorman palkille ja se haluttiin siksi tarkistaa.

Taulukko 8. Teräspalkin 3 statiikka kuormitustapauksessa 6

KT 6	Robot	Jigi	Tera	Tera (Vanha)	Jigin ero %	Teran ero %	Teran ero % (Vanha)
Vd	93,58kN	91,14kN	85,59kN	85,8kN	-2,72	-9,43	-8,21
Nd	244,04kN	235,6kN	237,1kN	209,9kN	-3,52	-2,96	-13,85
Md	192,1kNm	188,14kNm	189,06kNm	170,77kNm	-2,10	-1,65	-11,0








Prosentuaalisesti ohjelmistojen välinen ero on yhtäläinen edellä olevien tuloksien kanssa. Voimasuureellisesti palkinsuuntainen normaalivoima eroaa n. 35 kN Dos-pohjaisen *Teran* tuloksesta. Eroavaisuudet pysyvät kuitenkin alle 15 %.

3.3 Mitoitustutkimuksen arviointi

Ohjelmistojen statiikoita vertailtaessa voidaan havaita, että uusien ohjelmien *Robotin*, *Jigin* ja *Tera 4.0* tulokset ovat hyvin yhteneväisiä, prosentuaalisesti vain pieniä eroja on havaittavissa. Muutamia suurempia prosentuaalisia eroja voidaan nähdä, mutta ne eivät voimasuureina kuitenkaan mielestäni ole oleellisia. Erot pysyvät pääosin kuitenkin alle 10 %. Voidaan siis todeta laskennan olevan luotettava ohjelmien yhteneväisten tuloksien vuoksi.

Vanhalla DOS-pohjaisella *Teralla* laskettu kehä eroaa prosentuaalisesti ja voimasuureellisesti hieman enemmän. Erot johtuvat pääosin siitä, että kuormat joilla kehä on aikaisemmin laskettu, ovat olleet hieman pienempiä. Myös vanhemman *Teran* laskentatapa saattaa olla erilainen nykyiseen laskentatapaan verrattuna, joka tässä tapauksessa on kuitenkin vain oletamus, koska DOS-pohjaisen *Teran* laskentatapa ei ole tiedossa. Liitteenä on esitetty ohjelmistojen laskentatulokset statiikoiden osalta. Ohjelmistojen vertailun tarkoituksena oli motivoida toimiston työntekijät uusiin ohjelmiin.

Seuraavassa kuvassa (kuva 12) on saadut käyttöasteet Robotin laskentatuloksesta.

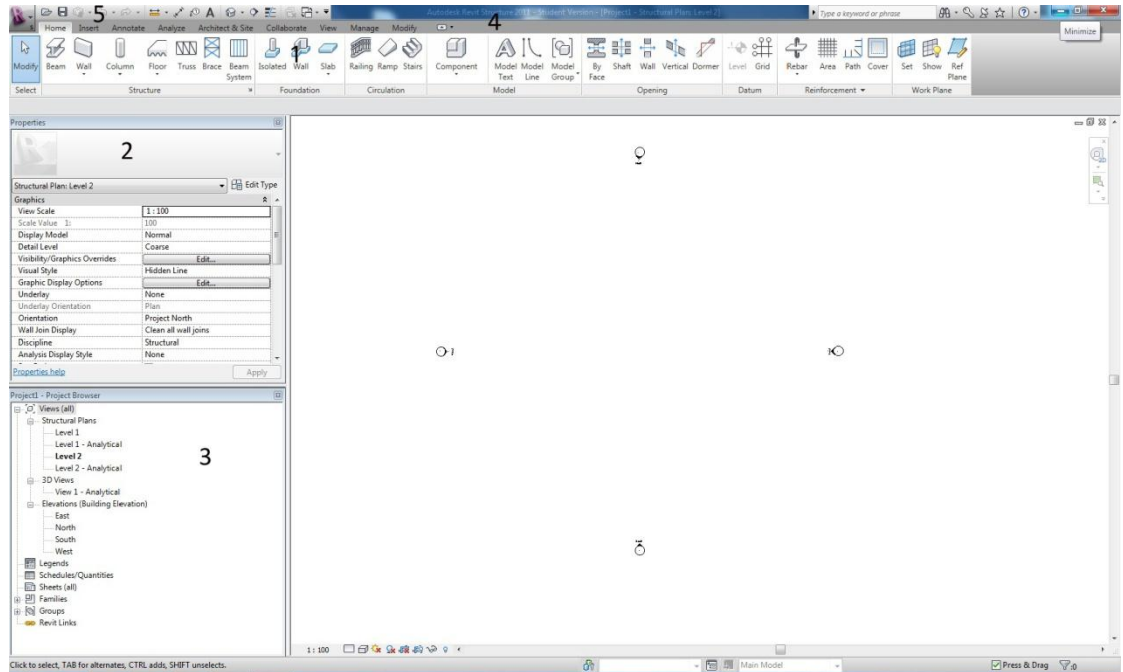
Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case	Ratio(uy)	Case (uy)	Ratio(uz)	Case (uz)
1 Column_1	 IPE270	S355J2G3	52.41	194.61	0.41	3 SN1	-	-	-	-
2 Column_2	 IPE270	S355J2G3	52.41	194.61	0.41	3 SN1	-	-	-	-
3 Beam_3	 IPE270	S355J2G3	59.23	219.93	1.13	3 SN1	0.00	1 DL1	0.46	7 KT6
4 Beam_4	 IPE270	S355J2G3	59.23	219.93	1.10	3 SN1	0.00	1 DL1	0.44	5 KT1
5 Beam_5	 SQUA70x70x	S355J2G3	237.71	237.71	0.41	3 SN1	0.00	1 DL1	0.40	6 KT2
6 Column_6	 IPE160	S355J2G3	6.08	21.69	0.46	4 Nosturi	-	-	-	-
7 Column_7	 IPE160	S355J2G3	6.08	21.69	0.00	1 DL1	-	-	-	-

Kuva 12. Robotista saadut käyttöasteet

Ohjelma näyttää määräävänä olevan kuormituksen käyttöasteen tai teräsprofiilin kohdalla tulee punainen raksimerkintä, jos esimerkiksi siirtymät ovat määrääviä. *Robotin* antamista käyttöasteista nähdään, että kehän palkit on mitoitettu kestäämään vanhojen normien mukaisesti, mutta uusien normien mukaa käyttöasteet mitoittavassa kuormitustapauksessa (KT6) menee hieman yli. Käyttöasteita ei lähdetä tämän tarkemmin tai muista ohjelmistoista tarkistelemaan. Tuloksien oikeellisuutta täytyy tarkoin aina miettiä, koska kyseessä on tietokoneohjelma ja sinne annetut asetukset. Kokemusta ohjelmien käyttämiseen tarvitaan paljon. Aina olisi hyvä olla myös jokin vertailukohde tuloksien varmistamiseksi.

4 OHJELMIEN KÄYTTÖ RAKENNESUUNNITTELUN TYÖVÄLINEENÄ

4.1 Revitin ulkoasu ja valikot



Kuva 13. Revitin käyttöliittymä

*Revit*issä on käytössä ns. Ribbon-valikko. Ribbon-valikko on kuvassa numero 1. Numerolla 2 on Properties-valikko, josta tapahtuu kaikki asetusten muokkaaminen. Properties-valikossa näkyy valittuna olevan työkalun asetukset. Vasemmassa alareunassa numerolla 3 on Project Browser-ikkuna, josta voidaan vaihtaa näkymää mallin eri tasojen välillä tai sitten katsoa mallia eri ilmansuunnista. Numerolla 4 on Ribbon-valikon alavalikot, joista saa lisää työkaluja näkyviin. Numerolla 5 näkyy tallennusvalinnat ja ohjelman asetuksiin liittyviä valintapainikkeita.

4.1.1 Revit mallinnustyökaluna

*Revit*in käyttöliittymä on mielestäni selkeä ja siihen tottuu nopeasti. *Revit*issä on käytössä ns. Ribbon-valikko, mikä on myös muissakin *Autodeskin* tuotteissa. Samanlainen valikkonäkymä helpottaa siirtymistä ja työn tekemistä eri ohjelmien välillä. Asetusten muokkaaminen Properties-valikosta on helppoa ja asetusvalinnat ovat selkeästi näkyvillä. Project Browser-ikkunasta voidaan valita esimerkiksi 3D-näkymä, jolla

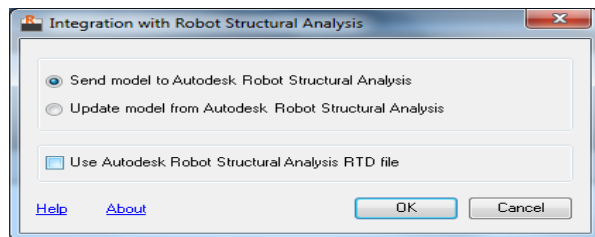
pystytään helposti tarkastelemaan rakennusta ja rakenteiden liittymiä eri kuvakulmis-
ta.

Revitissä pystytään laittamaan kehälle tarvittavat kuormitukset ja kuormitustapaukset, mutta kuormat on hyvä laittaa vasta *Robotissa*, sen jälkeen kun kehän malli on tarkasteltu mahdollisista virheistä. *Revit* tekee mallista analyysimallin. Rakenteiden sisälle piirtyy analyysiviiva, jonka asetuksia pystytään muuttamaan valikosta. Rakenteesta täytyy tarkastaa mallintamisen jälkeen, että analyysiviivat rakennusosien välillä ovat yhdistyneet. Pilarien ja palkkien väliset tukiasetukset on syytä laittaa jo *Revitissä* oikein. Mallin yksityiskohtaiseen ulkonäköön ei ennen laskentaa kannata vielä kiinnittää huomiota. Mallin asetuksissa täytyy olla tarkka, koska jo *Revitissä* laadittuun malliin siirtyy oleellista tietoa, mikä vaikuttaa myöhemmin tapahtuvaan laskentaan. Kun rakenne on valmis ja tarkastettu, se voidaan siirtää laskentaan. Laskennan jälkeen *Revitistä* löytyy työkalut, millä pilareiden ja palkkien liitokset saa muokattua oikeanlaisiksi. Työkalut ovat käytössä ladattavalla *Revit Extensions* –lisäosalla, joka on käytössä vain erillisillä tunnuksilla.

Mallin tekeminen oli helpohkoa, mutta ohjelmisto sisältää vielä joitakin virheitä. Esimerkiksi, kun palkki piirrettiin pilarin päälle ja kun vaihdettiin näkymää, niin se ei välttämättä ollut piirtynyt siihen mihin sen olisi pitänyt. Joskus esiintyy myös tilanne, että palkki mallintuu liian pitkälle pilarin päälle tai jäi liian lyhyeksi visuaalisessa näkymässä. Mallin tekemiseen on monta erilaista tapaa, mutta kun oppii yhden tietyn tavan ja harjoittelee sitä tarpeeksi kauan, on mallin piirto nopeaa. Voi olla, että malleja joudutaan tekemään useita virheettömän mallin aikaansaamiseksi. Vaikeuksia tässä työssä aiheutti vinossa olevien teräskattopalkkien mallintaminen ja niiden oikeaan korkeusasemaan saaminen.

4.2 Revitin ja Robotin välinen linkitys

Revit Structurella voidaan tallettaa malli *IFC-standardina*, jonka avulla malli voidaan siirtää *Robot*-ohjelmaan. *IFC-standardissa* siirtyy kolmiulotteinen geometria ja attribuuttitieto rakenteiden ominaisuuksista. *Revitin* ja *Robotin* välillä on käytössä myös oma formaatti *RTD* (kuva 14). *IFC-standardi* on yleisesti käytössä oleva tiedonsiirto-standardi, mutta se ei toimi vielä ihan moitteettomasti. Kaikki tietomallin tieto ei siis välttämättä välity standardin välityksellä toiseen ohjelmaan. (Senaattikiinteistöt 2011.)

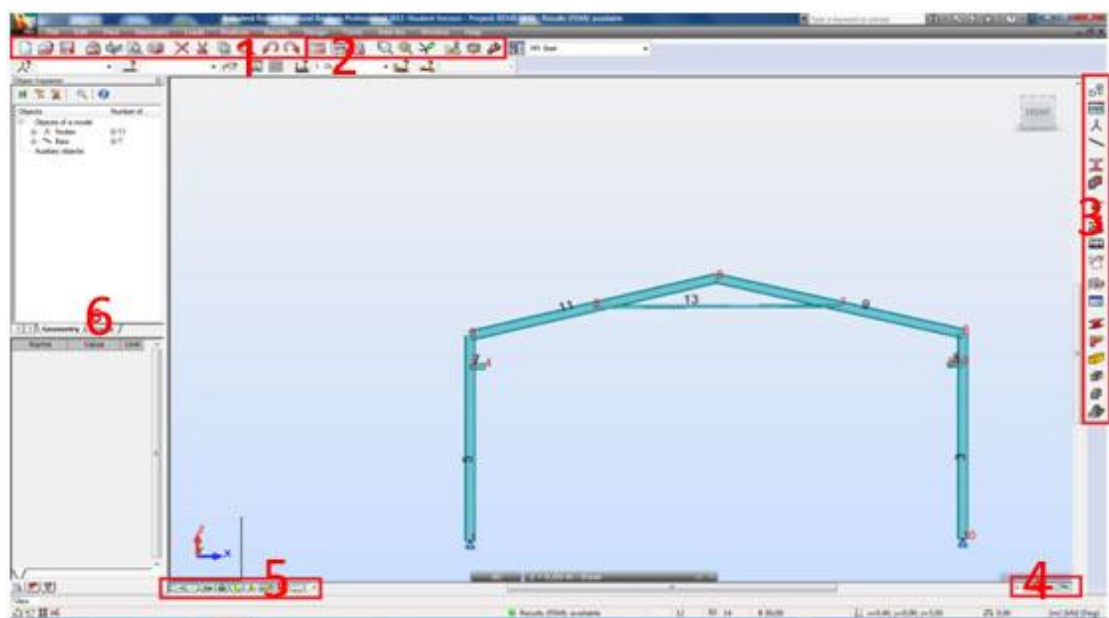


Kuva 14. Ennen tietomallin lähetystä tehtävä formaatin valinta *Revitissä*.

Mallin siirtämiseen *Revitistä Robottiin* tarvittiin *Revitin* add-ins valikko. Valikko ei siis ole käytössä ilman erillisiä tunnuksia. Tunnuksilla saa *Revit Extensions* asennustiedoston, jonka asentamalla saa käyttöönsä mm. linkityksen *Robotin* ja *Revitin* välille, liitosmallintamisen sekä automaattiset raudoitustyökalut. Lisäosalla saa käyttöönsä myös muitakin laajennuksia. Add-ins valikon kautta saadaan käyttöön linkki mistä mallin siirto *Robottiin* tapahtuu kaksisuuntaisen linkin välityksellä. Malli siirtyy *Robottiin* ja siellä voidaan suorittaa rakenteiden mitoitus.

4.3 Robotin ulkoasu ja valikot

Seuraavassa kuvassa (kuva 15) on esitetty *Robotin* käyttöliittymä.



Kuva 15. *Robotin* käyttöliittymä

Robotin alkuvalikossa on valittavana eri rakennemuoduleita. *Robotin* käyttöliittymän näkymä riippuu siitä, mikä suunnittelumuoduli on otettu käyttöön. Kuvan 14 tapauksessa on käytössä siis teräsmitoitusmoduuli.

Robotin käyttöliittymässä on vakiotyökalut ruudussa 1. Vakiotyökaluilla hallitaan perusasetuksia kuten tallentaminen ja leikkaaminen. Ruudussa 2 on katselu, muokkaus, työkalut ja asetukset. Ruudussa 3 on mallintamiseen tarvittavat työkalut. Ruudussa 4 on näkymäasetuksiin liittyviä muokkausvalintoja. Ruudussa 5 on mallin tietojen näkyytyteen liittyvät asetukset (päälle/pois), kuten esim. solmu, palkkinumerot ja kuormat. Ruudussa 6 on objektien tarkasteluikkuna. Ruutuun 6 tulee näkyviin asetusvalinnat, kun valitsee mallista palkin tai pilarin aktiivisiksi.

4.3.1 *Robot* rakenteiden mitoituksessa ja linkin toiminta

Ennen mitoitusta analyysimalli on tarkistettava virheistä. *Revit* tekee siirron jälkeen virheistä lokitiedoston, joka käydään tarkasti läpi. *Robottiin* siirtyneestä analyysimallista täytyy tarkastaa solmupisteiden yhtymäkohdat. Kun analyysimalli on kunnossa, voidaan *Robotin* näkymäasetuksista valita mallinnettujen sauvojen profiilit näkyviin ja tarkastaa niistä, ovatko ne piirtyneet oikein päin. Ennen mitoituksen suorittamista on myös hyvä käydä vielä mallinnettujen rakenteiden asetukset läpi. Virheiden minimoin jälkeen malli voidaan mitoittaa.

Tässä työssä malli jouduttiin siirtämään *Robottiin* useita kertoja ennen kuin se onnistui hyvin. Mallin siirto-ongelmat voivat johtua osaksi tietokoneesta, mutta parantamisen varaa on vielä *Revitin* ja *Robotin* välisen linkin toiminnassakin. Siirron aikana havaittiin tärkeitä asioita mm. kuormien mallintamisesta ja mallin tarkastuksesta. Kuormien mallintaminen ja omat kuormitusyhdistelmät kannattaa tehdä vasta *Robotissa*, koska näin malliin tulleet virheet on helppo korjailla. Mallin tarkastuksessa havaittiin, että sauvat eivät kohdanneetkaan kaikissa solmupisteissä, vaan solmupisteitä oli kaksi vierekkäin. Tämä virhe johtui luultavasti mallinnusvaiheessa syntyneestä häiriöstä. Muutamien mallien tekemisen jälkeen solmupisteet saatiin täsmäämään lukumäärällisesti ja sauvat saatiin yhtymään solmupisteissä. Näkymäasetuksista muokkaamalla kehän teräsprofiilit näkyviin, tehtiin havainto, että profiili oli väärin päin kehään nähden. Profiili oli niin, että nurjahdusalttiimpi puoli oli kehän suuntaisesti. Tämä virhe johtui luultavasti *Revitissä* olevan pilarin koordinaatiston ja *Robotin* pilarin koordinaatiston suuntaepoikkeamasta. Ongelmasta selvittiin ainoastaan niin, että pilarin profiilia oli robotissa käännettävä oikein päin.

Huomioista päätellen linkki ei vielä ole luotettava. Kehärakennetta mallinnettiin tästä johtuen myös pelkästään *Robotilla* ja tultiin toistaiseksi siihen tulokseen, että pelkäs-

tään robotilla tehty malli oli luotettavampi laittaa laskentaan kuin *Revitistä Robottiin* linkin välityksellä siirretty malli.

Robotissa mitoitus tapahtuu *Eurocode 3* mukaisesti omien kuormitusyhdistelyjen avulla tai sitten normin mukaisen kuormitusyhdistelyn avulla, jonka sai *Robotista* erikseen asetettua toimintaan. Mitoitustulokset, määräävät kuormitustapaukset ja pilarin eri käyttöasteet ovat selkeästi näkyvillä ja *Robotista* saadaan otettua kattavat tulokset mallin statiikasta ja teräsmitoituksesta. Mitoituksen jälkeen voidaan malli ja siihen mahdollisesti tehdyt muutokset siirtää linkin välityksellä takaisin revittiin ja jatkaa mallintamista *Revitissä* eteenpäin.

5 OHJEKIRJA REVITIN JA ROBOTIN YHTEISKÄYTÖSTÄ

Insinööriyön tuloksena oli tarkoitus tutustuttaa insinööritoimisto Savelaa *Robot* ja *Revit* ohjelmistojen käyttöön ohjekirjan avulla. Ohjekirjan tarkoituksena on antaa valmius ohjelmiston käyttöönotolle. Tarkoituksena ei ollut syventyä erityisesti mihinkään pieneen yksityiskohtaan mallintamissa, vaan mallin laatimiseen *Revit* ohjelmistolla ja mallin laskemiseen *Robot* ohjelmistolla.

Ohjekirjassa käydään läpi pilarin ja palkin mallintaminen ja kehän aikaansaamiseksi tarvittavat asiat. Liitosmallintamista ei käsitellä, eikä niitä myös opeteta ohjekirjassa laskemaan. Ajatuksena oli se, että ohje tulee olla luettavassa ja selkeässä muodossa. Ohje on laadittu pääasiassa kirjoittamalla ohjetta mallintamisen havainnoista. Ohjekirjan mallina käytin muutamia olemassa olevia ohjeita. Ohjekirjassa on siis yksi tapa, jolla kyseessä oleva kehä mallinnetaan. Muitakin tapoja on olemassa ja ohjelmiston oppimiseksi ja varman tavan löytämiseksi on syytä kokeilla erilaisia tapoja, jotta löytäisi sen tavan millä saataisiin se mahdollisimman tarkka ja oikea tulos. Ohjekirjan avulla pystytään mallintamaan ja laskemaan insinööriyön mallirakenteena oleva teräsrakenteinen teollisuushalli. Ohjekirjaa ei tulla julkaisemaan tässä päättötyössä ja se jää vain Insinööritoimisto Savela Oy:n tietoon.

6 TYÖN TULOKSET JA POHDINTA

6.1 Tulokset

Insinööriyön tavoitteena oli tehdä ohjekirja *Revitin* ja *Robotin* yhteiskäytöstä. Mallina ja lähtökohtana työssä käytettiin jo olemassa olevaa teollisuushallin teräsrakenteista kehää. Kehä laskettiin Eurokoodin mukaisesti hyödyntäen *Robot* ohjelmistoa. Tuloksia vertailtiin *Tera 4.0:n*, *Jigin* ja *DOS*-pohjaisen *Teran* laskentatulokseen.

Työn alkuvaiheessa oli tarkoitus, että kehä laskettaisiin käsin ja tuloksia vertailtaisiin *Robotin* laskentatulokseen, mutta työn edetessä huomasin, että insinööriyössäni käsiteltävä kehä on erittäin haastava laskea käsin ja jo yksinään se suoritus on päätötyön arvoinen. Päädyin ratkaisuun, jossa verrattiin *Robotin* laskentatulokseen *Jigin* ja *Teran* laskentatuloksia ja lisäksi tein suunnitelmassa olleen ohjekirjan.

6.1.1 Havaintoja ohjelmistojen käytöstä

Insinööriyössä saatiin paljon hyvää kokemusta kolmesta eri laskentaohjelmasta ja yhdestä mallinnusohjelmasta. Tärkein ja huomion arvoinen asia ohjelmia käytettäessä on se, että on oltava tarkkana ja tiedettävä mitä on tekemässä. Rakenteiden laskennassa tuloksen oikeellisuudesta on oltava varma ja siksi hyvin usein käytetään rinnakkain kahta eri laskentaohjelmaa. Tässä insinööriyössä käytettiin rinnakkain kolmea eri laskentaohjelmaa ja tuloksien perusteella voidaan olla varmoja, että kehä on laskettu oikein. Kokenut suunnittelija pystyy myös vertaamaan tuloksia kokemuseräiseen tietoon. Lisäksi mallista on hyvä tarkistaa alussa annetut lähtöarvot ja asetukset. Insinööriyön mallina olleesta kehästä tarkastettiin kuormat, pilarin tukiasetukset, pilarin ja palkin liitokset, sauvojen materiaali ja solmupisteet. Kokeneemmalla suunnittelijalla on hyvät lähtökohdat tarkastella kehän voimasuureita, mutta aloittelijan on oltava tarkkana. Täytyy muistaa, että ohjelmaan ei voida koskaan luottaa liiaksi ja vain sokeasti uskoa sen antamiin tuloksiin, koska näissä tapauksissa usein sattuu vahinkoja.

6.1.2 Mallin laadinta *Revitillä*

Alustavan rakennemallin tekeminen *Revit Structurella* on kohtalaisen helppoa ja asetusten asettaminen mallinnettaviin rakenteisiin on helppoa. Ohjelman käsittely vaatii kuitenkin huomattavan paljon opiskelua ja asiaan syventymistä. *Revitin* rakennemalli täytyy tehdä tarkasti, jotta siihen pystytään tekemään luotettava laskenta *Robotilla*. Ohjelman täysi hallitseminen vie paljon aikaa, mutta kokemuksen lisääntyessä, *Revit* on tehokas suunnitteluohjelma rakennesuunnittelussa.

6.1.3 *Robotin* käyttö

Robotilla voidaan laskea ja mallintaa rakenne. *Robot* ohjelmistossa on huomattava määrä erilaisia mallinnustyökaluja liitosten ja rakenteiden mallintamiseksi. Insinöörityön edetessä tehtiin johtopäätös, että ainakin kyseisen kehän laskemiseen luotettavin malli saatiin aikaan pelkästään *Robotilla* mallinnettuna ja laskettuna. *Robotista* malli voidaan siirtää laskennan jälkeen *Revittiin* ja jatkaa rakennesuunnittelua *Revitin* työkaluilla. Mallia tarvitsee siirtää linkin välityksellä vain kerran ja näin välttää laskentaan vaikuttavista virheistä. *Robotissa* käyttöliittymä on yksinkertainen ja Ohjelman mallinnustyökaluja on helppo käyttää.

6.1.4 Yhteiskäyttö

Rakennemallin siirto *Robottiin* ei ollut niin yksinkertaista kuin mitä sen olisi pitänyt olla. Opiskelijaversiosta puuttui *Revit Structuren* Add-ins valikko. Add-ins valikosta löytyy *Robot Structural Analysis* -valikko, josta tapahtuu *Revit* mallin siirto *Robottiin* laskettavaksi. Kyseinen valikko on käytettävissä ainoastaan asentamalla *Revittiin* vaadittu lisäosa *Revit Extensions*, mikä sisältää erilaisia pieniä työkaluja mallinnukseen ja mallin siirtoon erilaisten ohjelmien välillä. *Revit Extensions* -lisäosaa ei saanut ladattua opiskelijoille annetuilla tunnuksilla *Autodeskin* nettisivuilta, joten ohjekirjan tekemistä täytyi jatkaa koululla mallin lähetyksen osalta, jotta saatiin linkkiä kokeiltua ja testattua tarpeeksi. Mallin siirto tapahtui *Robottiin* melko yksinkertaisesti. Siirron aikana avautui asetus- ja huomautusikkunoita, joissa täytyi olla tarkkana. *Revitistä* *Robottiin* täytyi siirtyä kaikki tarvittava tieto, jotta mallin laskenta tapahtuisi oikein. *Robotin* avauduttua täytyi rakennemalli vielä tarkastaa siltä varalta, että jostain syystä asetukset olisivat menneet pieleen. Opinnäytetyössä tehdyssä mallissa tein huomion, että mallin siirron aikana tapahtui jokin häiriö mikä käänsin pilarin teräsprofiilin vää-

rinpäin kehään nähden. Häiriö todettiin johtuvaksi koordinaatiston eroavaisuuksista *Robotin* ja *Revitin* välillä.

6.1.5 Ohjekirja

Työn tilaaja halusi, että työn tuloksena tulisi ohjekirja yritykselle. Ohjekirjalla saataisiin aloitettua mallintaminen yhdessä eurokoodiopetuksen kanssa. Tilaajalla on aikaisempaa kokemusta *Robotin* käytöstä rakennesuunnittelussa, mutta myös mallintava rakennesuunnittelu halutaan *Revitin* avulla käyttöön.

Opinnäytetyön laajuuden rajoissa, tekemääni ohjekirjaan tuli nyt ehkä murto-osa siitä asiasta mitä *Revitillä* ja *Robotilla* pystytään tekemään. Tarkoituksena siis on, että ohjekirjalla saadaan hyvä valmius tietomallipohjaisen suunnittelun aloittamiseen. Ohjekirja tulee Insinööritoimisto Savelan rakennesuunnittelijoiden käyttöön. Ohjekirjasta tullaan pitämään Savelalle erillinen opetustilaisuus. Opetustilaisuudessa käydään myös läpi insinöörityössä tehdyt havainnot ohjelmistoista.

Ohjekirja on mielestäni tekijän kyvyt ja ohjelmistojen tietotaidon huomioon ottaen kelvollinen esitys *Revit* ja *Robot* ohjelmiston käyttöönottamisen alkuun laittamiseksi, mutta lisäopiskeluja ohjelmistojen parissa tarvitaan ehdottomasti lisää. Uusien ohjelmien opettelemiseen tarvitaan motivaatiota ja viitsimistä opiskella hieman itsenäisesti ja luottaa myös siihen, että ohjelmisto tulee tutuksi mitä enemmän sitä käyttää. Ohjelmiston saattaminen jokapäiväiseen käyttöön vaatii myös yrityksen panosta ohjelmien opettamiseen ja erillisten koulutustilaisuuksien pitämistä suunnittelijoille. Rakennesuunnittelun vaatimusten lisääntyessä kilpailu yritysten välillä kovenee. Kilpailua suunnittelutoimistojen välillä kiihdytetään lisäämällä suunnittelun tarjouspyyntöihin vaatimuksia tietomallin käyttämisestä ja siksi lähiaikoina tulisi panostaa tietomallinuksen saralle suunnittelutoimistojen keskuudessa. Eurokoodeilla laskemisen vaatimus tuo myös oman mausteensa suunnittelutoimistojen henkilöstön kouluttamiseen.

6.2 Pohdinta

Molemmat ohjelmat vaativat huomattavasti opiskelua, mutta kokemuksen lisääntyessä ja ohjelmien vielä entisestään kehittyessä ovat varmasti tehokkaita työvälineitä rakennesuunnittelussa. Tietomallintamisen ja osaamisen kehittyessä, pienessä ajassa saadaan enemmän aikaan ja enemmän tietoa jää malliin, josta sitä on helppo hyödyntää ottamalla 3D-mallista mm. kaksiulotteisia detaljeja, määräluetteloita ja

pohjapiirustuksia. Kolmiulotteinen malli parantaa rakenteiden havainnollistamista kohteissa missä on monimutkaisia rakenteiden liittymiskohtia.

Ohjelmistojen lisenssit saa lähes kaikki kotiin käytettäväksi, mikä helpotti työskentelyä. Ohjelmistojen lisenssit olivat kuitenkin kaikki rajoitettuja opiskelijaversioita tai muutaman viikon kokeiluversioita. Ainoastaan *Terasta* oli käytössä insinööritoimiston puolesta ostettu lisenssi, joka oli mahdollista saada kotiinkin käyttöön ilman rajoituksia. Lisenssien rajoittuneisuus haittasi joissain määrin työskentelyä ohjelmilla. Mallien siirto toimiston ohjelman kesken tuotti joitain ongelmia ja herjauksia opiskelijalisenssistä. Luulen, että ohjelmistojen toimivuus olisi ollut parempi täysillä lisensseillä.

Insinööritoimisto Savela Oy:ltä keväällä 2011 saatu opinnäytetyöaihe oli hyvä rakennesuunnittelun ohjelmistoihin läheisesti liittyvä aihe. Työtä oli haasteellista lähteä tekemään ja rajaamaan niin, että siitä saadaan selkeä yksi kokonaisuus, mutta kuitenkin niin, että työstä olisi myös mahdollisimman paljon hyötyä. Keväällä pidetyt kokoukset selkeyttivät vähän paremmin linjaa, jolla työtä lähdettiin tekemään.

Ohjekirjan tekeminen *Revitin* ja *Robotin* yhteiskäytöstä alkoi kesällä ja sitä jatkui pitkälle syksyyn. Ohjekirja eteni sitä mukaa kun itse opettelin tietokoneohjelmien käyttöä. Aikaa kului opetteluun ja mallintamistavan harjoitteluun. Mallin tutkiminen ja työstäminen vei aikaa. Ohjekirjan tekemisen lomassa kävi ilmi, että ainoastaan ohjekirja itsessään ei takaa opiskelijalle hyvää ohjelman tuntemusta vaan ohjelman opiskelijan on pyrittävä tutkimaan ohjelmaa myös paljon itsenäisesti. Ohjelman ”salat” aukeavat vasta, kun ohjelmiin on tutustunut pitemmän aikaa kuin pelkästään ohjekirjan avulla suoritettu esimerkkimallin tekeminen. Nyt valmiiksi saatu ohjekirja ei välttämättä ole se lopullinen vaan siihen voi tulla muutoksia sitä mukaa, kun virheitä siinä huomataan ja parannusehdotuksia ohjekirjan käyttäjiltä saadaan.

Tutkimusosa aloitettiin vasta, kun ohjekirjasta oli saatu jonkinlainen versio aikaiseksi. Vähäisestä ohjelmien käytöstä johtuen mallien tekeminen ja asetusten muokkaaminen kesti kauan ja laskentatulokset saattoivat heitellä aluksi hyvinkin paljon.

Työn eri vaiheista saaduista tuloksista voidaan päätellä, että mallintamiseen siirtyminen ei tule olemaan helppoa. Eurokoodit tuovat mallintamisen kanssa pientä ”lisämaustetta” suunnittelijoiden koulutukseen. Ohjelmistojen aukoton toimivuus takaa suunnittelijalle myös hyvän ja luotettavan pohjan suunnittelulle. Opinnäytetyötä tehdessä voitiin havaita, että mallia täytyy tarkastaa, kun sitä siirtää johonkin toiseen

ohjelmaan, esimerkiksi tässä tapauksessa *Revitistä Robottiin*, jotta saataisiin virhemahdollisuudet pienennettyä. Voidaan siis todeta, että mallinnusohjelmatkaan eivät ole vielä täysin valmiita.

Tietomallintamisesta saatavat hyödyt ovat selkeitä, mutta siihen vaaditaan kouluttautumista ja orientoitumista. Mitoitustutkimuksen tarkoituksena oli saada motivaatiota uuden asian oppimiseen. Mitoitustutkimuksen vertailukohteet otettiin siksi toimistolla jo olevista ohjelmistosta tai mahdollisesti toimistolle asennettavista lisäohjelmista, jotta saataisiin toimiston työntekijöille näkemys ja luottamus uuteen ohjelmaan.

Kun rakennesuunnittelua tehdään tietokoneavusteisesti laskentaohjelmilla, kuten *Robot*, *Jigi* ja *Tera*, niin on muistettava, että virhenäppäilyjen ja virheellisten arvojen syöttäminen ohjelmaan on helppoa. Virheet voivat vaikuttaa vaarantavasti laskentatuloksiin. Siksi on muistettava mallin tarkastaminen varsinkin, kun tietoa siirretään linkin välityksellä ohjelmasta toiseen. Laskentatuloksia olisi aina hyvä verrata johonkin toiseen laskentatulokseen.

Opinnäytetyössä ohjelmien työkaluista oli käytössä vain murto-osa ja jatkossa kannattaakin paneutua ohjelmiston muihin osiin kuin pelkästään teräsrakenteiden suunnittelun työkaluihin. Ohjelmiston opettamiseen jatkossa pitäisi harkita erilaisia vaihtoehtoja. Yhtenä vaihtoehtona on se, että käytettäisiin aikaa maksullisille kursseille: Yksi työntekijä käy kurssilla, hankkii opetusmateriaalin ja tekee muistiinpanot, jonka jälkeen yrittää opettaa oppimansa asian muille työntekijöille. Näin estetään projektien seisahtumista ja työnantajan kukkaro ei kevene niin paljon kun vain yksi työntekijä käy maksullisen kurssin. Työpaikalla opettamistilaisuus voisi olla aina perjantain aamupalaverissa, jota jatkettaisiin niin kauan kuin tarpeelliseksi katsotaan. Opetustilaisuus pitäisi olla heti maksullisen kurssin jälkeen, jolloin kurssia suorittava työntekijä pystyy tuoreesta muistista opettamaan muille oppimansa asiat.

LÄHTEET

Eurokoodi help desk. [verkkodokumentti]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 26.10.2011]. Saatavissa: <http://www.eurocodes.fi/>

Henttinen, T. 2011. Mihin tietomallintaminen on menossa. Solibri. [verkkodokumentti] [viitattu 26.10.2011]. Saatavissa: <http://www.solibri.com/documents/suomenkielinen-materiaali/>

Jigi-soft/A&S Virtual Systems Oy. [verkkodokumentti]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 26.10.2011]. Saatavissa: <http://www.jigi-soft.fi/fi/etusivu/>

Kaitila, O. 2010. Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys ry.

Syvärinen, K. 2007. Tietomallinnus. YIT. [verkkodokumentti] [viitattu 26.10.2011] Saatavissa: www.yit.fi/palvelut/Ajankohtaista/julkaisut/47032/47039

Senaattikiinteistöt. Kumppaneille. Rakennuksen tietomallinnus [verkkodokumentti]. Julkaisuaika tuntematon [Viitattu 26.10.2011] Saatavissa: <http://www.senaatti.fi/document.asp?siteID=1&docID=546>

Tietoa Teklasta. [verkkodokumentti]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 26.10.2011]. Saatavissa: <http://www.tekla.com/fi/about-us/Pages/Default.aspx>

Virtualsystems. Robot Structural Analysis. [verkkodokumentti]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 26.10.2011]. Saatavissa: <http://www.virtualsystems.fi/index.php?k=9193>

Virtualsystems. Revit Structure. [verkkodokumentti]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 26.10.2011]. Etusivu Saatavissa: <http://www.virtualsystems.fi/index.php?k=9192>

Virtualsystems [verkkodokumentti]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 26.10.2011]. Etusivu > Tietomallinnus Saatavissa: <http://www.virtualsystems.fi/index.php?k=8562>

KUVALUETTELO

Kuva 1 Tietomallit kiinteistön elinkaarella.....	11
Kuva 2 Tyypillisiä mastokehiä, joissa mastopilari liittyy nivelellisesti ristikkoon tai palkkii.	15
Kuva 3 Yksilaivaisten hallien jäykkänurkkaisia kehiä: a)kolminivelkehä b)kaksinivelkehä c)jäykkäkantainen kehä lakinivelellä d)jäykkäkantainen kehä	15
Kuva 4 Insinööriyössä mallina käytettävä jäykkäkantainen kehä.....	16
Kuva 5 Eurocode eli eurooppalainen yhtenäistämisstandardi tulee väistämättä osaksi rakennesuunnittelua.....	17
Kuva 6. Teollisuushallin pohjaplaani.....	18
Kuva 7. Leikkaus teollisuushallista.....	19
Kuva 8. Kehän nurkkaliitos.....	19
Kuva 9. Kehän harjaliitos.....	20
Kuva 10. Valmis tietomalli.....	21
Kuva 11. Kehärakenne Robotista.....	24
Kuva 12. Robotista saadut käyttöasteet.....	32
Kuva 13 Revitin käyttöliittymä.....	33
Kuva 14. Ennen tietomallin lähetystä tehtävä formaatin valinta Revitissä.....	35
Kuva 15. Robotin käyttöliittymä.....	35

TAULUKOT

Taulukko 1. Tukireaktiot tuella 1, vertailu Robotin ja käsinlaskun välillä.....	22
Taulukko 2. Tukireaktiot tuella 1 ja 10.....	25
Taulukko 3. Teräspilarin 1 statiikka.....	26
Taulukko 4. Teräspilarin 2 statiikka.....	27
Taulukko 5. Teräspalkin 3 statiikka.....	28
Taulukko 6. Teräspilarin 4 statiikka.....	29
Taulukko 7. Teräspalkin 6 statiikka kuormitustapauksissa 1 ja 2.....	30
Taulukko 8. Teräspalkin 3 statiikka kuormitustapauksessa.....	30

Liite 1 Tera 4.0:n mallikehän laskentatulokset

```
TEKLA OY  
1515000000000000000000000000000000 SIVD 1  
TERA/TEL300 (4.0)
```

YLEISTIEDOT:

SOLMUJA	11
SUURIN SOLMUNUMERO	11
SAUVOJA	11
SUURIN SAUVANUMERO	11
TUKIA	2
POIKKILEIKKAUKSIA	3
MATERIAALEJA	1
KUORMITUSTAPAUKSIA	5

SOLMUIPSTEET JA TUKIEHDOT

SOLMU	X	Z	DX	DZ	WY
1	0.000	0.000	TUKI	TUKI	
2	0.000	5.000			
3	0.000	5.883			
4	0.400	5.000			
5	3.225	6.689			
6	6.450	7.495			
7	9.675	6.689			
8	12.500	5.000			
9	12.900	0.000	TUKI	TUKI	
10	12.900	5.000			
11	12.900	5.883			

SAUVA-ARVOT

SAUVA	PAA1	PAA2	PITUUS	SIN	COS	P-L ₀
1	1	2	5.000	1.00	0.00	1
2	2	3	0.883	1.00	0.00	1
3	2	4	0.400	0.00	1.00	2
4	3	5	3.324	0.24	0.97	1
5	5	6	3.324	0.24	0.97	1
6	5 NIVEL	7 NIVEL	6.450	0.00	1.00	3
7	6	7	3.324	-0.24	0.97	1
8	7	11	3.324	-0.24	0.97	1
9	8	10	0.400	0.00	1.00	2
10	9	10	5.000	1.00	0.00	1
11	10	11	0.883	1.00	0.00	1

POIKKILEIKKAUSARVOT

P-L	T	M	H	B	HY	HA	BY	BA
1		1	1	IPE270				
2		1	1	IPE160				
3		1	1	P70X70X3				

P-L	T	A	I	EY	EA
1		.45900E-02	.57900E-04	0.135	0.135
2		.20100E-02	.86900E-05	0.080	0.080
3		.78082E-03	.57567E-06	0.035	0.035

MATERIAALIT

M	E
1	.21000E+09

KUORMITUSTAPPAUS 1: RAKENNE

TUNNUS	S/N	S1	S2	S3	S4	SUUNTA
15/5	4	-0.358	0.000	3.324		Z
15/5	5	-0.358	0.000	3.324		Z
15/5	7	-0.358	0.000	3.324		Z
15/5	8	-0.358	0.000	3.324		Z
15/5	6	-0.061	0.000	6.450		Z
15/5	11	-0.358	0.000	0.883		Z
15/5	9	-0.157	0.000	0.400		Z
15/5	10	-0.358	0.000	5.000		Z
15/5	1	-0.358	0.000	5.000		Z
15/5	2	-0.358	0.000	0.883		Z
15/5	3	-0.157	0.000	0.400		Z
SUMMA-X						0.17205E-07
SUMMA-Z						-.94912E+01

KUORMITUSTAPPAUS 2: OMAP

TUNNUS	S/N	S1	S2	S3	S4	SUUNTA
8	4	-2.678	-2.678	0.000	3.324	Z
8	5	-2.678	-2.678	0.000	3.324	Z
8	7	-2.678	-2.678	0.000	3.324	Z
8	8	-2.678	-2.678	0.000	3.324	Z
SUMMA-X						0.12868E-06
SUMMA-Z						-.35604E+02

KUORMITUSTAPPAUS 3: LUMI

TUNNUS	S/N	S1	S2	S3	S4	SUUNTA
8	4	-8.033	-8.033	0.000	3.324	Z
8	5	-8.033	-8.033	0.000	3.324	Z
8	7	-8.033	-8.033	0.000	3.324	Z
8	8	-8.033	-8.033	0.000	3.324	Z
SUMMA-X						-.76576E-07
SUMMA-Z						-.10681E+03

KUORMITUSTAPPAUS 4: TUULI

TUNNUS	S/N	S1	S2	S3	S4	SUUNTA
8	1	2.691	2.691	0.000	5.000	X
8	2	2.691	2.691	0.000	0.883	X
8	10	0.810	0.810	0.000	5.000	X
8	11	0.810	0.810	0.000	0.883	X
SUMMA-X						0.20596E+02
SUMMA-Z						0.00000E+00

KUORMITUSTAPPAUS 5: NOSTURI

TUNNUS	S/N	S1	S2	S3	S4	SUUNTA
16	4	6.800	-50.200	0.000		
SUMMA-X						0.68000E+01
SUMMA-Z						-.50200E+02

KUORMITUSTAPAUSTULOSTUS

SAUVA: 1

TAPAUS	PAA1:	1	2/8	4/8	6/8	PAA2:	2
1 N		-4.75					-2.96
V		-0.56	-0.56	-0.56	-0.56		-0.56
M		0.00	-0.70	-1.40	-2.10		-2.80
SY		-1.03	0.70	2.42	4.15		5.88
SA		-1.03	-2.57	-4.10	-5.64		-7.17

Rakenne

Orma

2 N		-17.80					-17.80
V		-3.81	-3.81	-3.81	-3.81		-3.81
M		0.00	-4.76	-9.51	-14.27		-19.03
SY		-3.88	7.21	18.31	29.40		40.49
SA		-3.88	-14.97	-26.06	-37.16		-48.25

3 N		-53.41					-53.41
V		-11.42	-11.42	-11.42	-11.42		-11.42
M		0.00	-14.27	-28.54	-42.82		-57.09
SY		-11.64	21.64	54.92	88.20		121.47
SA		-11.64	-44.91	-78.19	-111.47		-144.74

Lumi

Tuuli

4 N		4.70					4.70
V		13.10	9.73	6.37	3.00		-0.36
M		0.00	14.27	24.33	30.19		31.84
SY		1.02	-32.24	-55.71	-69.36		-73.22
SA		1.02	34.29	57.75	71.41		75.27

Nosturi

5 N		-46.00					-46.00
V		2.68	2.68	2.68	2.68		2.68
M		0.00	3.36	6.71	10.07		13.42
SY		-10.02	-17.85	-25.67	-33.50		-41.32
SA		-10.02	-2.20	5.63	13.45		21.28

SAUVA: 2

TAPAUS	PAA1:	2	2/8	4/8	6/8	PAA2:	3
1 N		-2.69					-2.50
V		-0.56	-0.56	-0.56	-0.56		-0.56
M		-2.79	-2.91	-3.03	-3.16		-3.28
SY		5.87	6.17	6.48	6.78		7.09
SA		-7.13	-7.40	-7.67	-7.94		-8.21
2 N		-17.80					-17.80
V		-3.81	-3.81	-3.81	-3.81		-3.81
M		-19.03	-19.87	-20.71	-21.55		-22.39
SY		40.49	42.45	44.41	46.37		48.33
SA		-48.25	-50.21	-52.17	-54.12		-56.08
3 N		-53.41					-53.41
V		-11.42	-11.42	-11.42	-11.42		-11.42
M		-57.09	-59.61	-62.13	-64.65		-67.17
SY		121.47	127.35	133.23	139.10		144.98
SA		-144.74	-150.62	-156.50	-162.37		-168.25
4 N		4.70					4.70
V		-0.36	-0.96	-1.55	-2.14		-2.74
M		31.84	31.70	31.42	31.01		30.47
SY		-73.22	-72.88	-72.24	-71.28		-70.03
SA		75.27	74.93	74.28	73.33		72.08
5 N		4.20					4.20
V		-4.12	-4.12	-4.12	-4.12		-4.12
M		33.50	32.60	31.69	30.78		29.87
SY		-77.21	-75.09	-72.97	-70.85		-68.73
SA		79.03	76.91	74.79	72.67		70.55

SAUVA: 3

TAPAUS	PAA1:	2	2/8	4/8	6/8	PAA2:	4
--------	-------	---	-----	-----	-----	-------	---

1	N	0.00				0.00
	V	0.06	0.05	0.03	0.02	0.00
	M	-0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00
	SY	0.12	0.06	0.03	0.01	0.00
	SA	-0.12	-0.06	-0.03	-0.01	0.00
2	N	0.00				0.00
	V	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	M	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SY	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	N	0.00				0.00
	V	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	M	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SY	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	N	0.00				0.00
	V	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	M	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SY	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	N	6.80				6.80
	V	50.20	50.20	50.20	50.20	50.20
	M	-20.08	-15.06	-10.04	-5.02	0.00
	SY	188.24	142.03	95.81	49.60	3.38
	SA	-181.47	-135.26	-89.04	-42.83	3.38

TAUVA:

4

TAPAUS	PAA1:	3	2/8	4/8	6/8	PAA2:	5
1	N	-1.17				-0.00	
	V	2.36	2.08	1.79	1.50	1.21	
	M	-3.28	-1.44	0.17	1.53	2.66	
	SY	7.40	3.11	-0.62	-3.78	-6.39	
	SA	-7.90	-3.59	0.17	3.37	6.01	
2	N	-8.01				-5.85	
	V	16.35	14.19	12.03	9.87	7.71	
	M	-22.39	-9.70	1.19	10.29	17.60	
	SY	50.46	20.99	-4.29	-25.40	-42.31	
	SA	-53.95	-24.25	1.27	22.61	39.76	
3	N	-24.02				-17.55	
	V	49.04	42.57	36.09	29.61	23.14	
	M	-67.17	-29.10	3.58	30.88	52.80	
	SY	151.38	62.97	-12.88	-76.19	-126.94	
	SA	-161.85	-72.74	3.82	67.83	119.29	
4	N	-1.52				-1.52	
	V	-5.23	-5.23	-5.23	-5.23	-5.23	
	M	30.47	26.13	21.79	17.45	13.10	
	SY	-71.38	-61.26	-51.13	-41.01	-30.88	
	SA	70.72	60.59	50.47	40.34	30.22	
5	N	-2.98				-2.98	
	V	-5.07	-5.07	-5.07	-5.07	-5.07	
	M	29.87	25.66	21.44	17.23	13.02	

	SY	-70.29	-60.47	-50.64	-40.82	-31.00
	SA	68.99	59.17	49.35	39.53	29.70
SAUVA: 5						
TAPAUS	PAA1:	5	2/8	4/8	6/8	PAA2: 6
1	N	-5.95				-5.67
	V	-0.26	-0.55	-0.84	-1.13	-1.42
	M	2.66	2.32	1.74	0.93	-0.13
	SY	-7.50	-6.69	-5.33	-3.41	-0.93
	SA	4.90	4.13	2.80	0.91	-1.54
2	N	-41.48				-39.32
	V	-1.19	-3.35	-5.51	-7.67	-9.83
	M	17.60	15.71	12.03	6.56	-0.71
	SY	-50.08	-45.56	-36.85	-23.97	-6.90
	SA	32.00	27.72	19.25	6.60	-10.23
3	N	-124.44				-117.97
	V	-3.58	-10.05	-16.53	-23.01	-29.48
	M	52.80	47.14	36.09	19.67	-2.14
	SY	-150.23	-136.67	-110.56	-71.91	-20.70
	SA	96.01	83.15	57.75	19.80	-30.70
4	N	3.18				3.18
	V	-4.05	-4.05	-4.05	-4.05	-4.05
	M	13.10	9.74	6.37	3.00	-0.36
	SY	-29.86	-22.01	-14.16	-6.31	1.54
	SA	31.24	23.40	15.55	7.70	-0.15
5	N	0.73				0.73
	V	-4.14	-4.14	-4.14	-4.14	-4.14
	M	13.02	9.57	6.13	2.69	-0.75
	SY	-30.19	-22.17	-14.14	-6.11	1.92
	SA	30.51	22.48	14.46	6.43	-1.60

SAUVA: 6						
TAPAUS	PAA1:	5	2/8	4/8	6/8	PAA2: 7
1	N	5.28				5.28
	V	0.20	0.10	0.00	-0.10	-0.20
	M	0.00	0.24	0.32	0.24	0.00
	SY	6.76	-7.68	-12.49	-7.68	6.76
	SA	6.76	21.21	26.02	21.21	6.76
2	N	36.73				36.73
	V	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	M	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SY	47.03	47.03	47.03	47.03	47.03
	SA	47.03	47.03	47.03	47.03	47.03
3	N	110.18				110.18
	V	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	M	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SY	141.10	141.10	141.10	141.10	141.10
	SA	141.10	141.10	141.10	141.10	141.10
4	N	-4.85				-4.85
	V	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

M	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SY	-6.21	-6.21	-6.21	-6.21	-6.21
SA	-6.21	-6.21	-6.21	-6.21	-6.21
5 N	-3.82				-3.82
V	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
M	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SY	-4.90	-4.90	-4.90	-4.90	-4.90
SA	-4.90	-4.90	-4.90	-4.90	-4.90

SAUVA: 7

TAPAUS	PAA1:	6	2/8	4/8	6/8	PAA2:	7
1 N		-5.67					-5.95
V		1.42	1.13	0.84	0.55		0.26
M		-0.13	0.93	1.74	2.32		2.66
SY		-0.93	-3.41	-5.33	-6.69		-7.50
SA		-1.54	0.91	2.80	4.13		4.90
2 N		-39.32					-41.48
V		9.83	7.67	5.51	3.35		1.19
M		-0.71	6.56	12.03	15.71		17.60
SY		-6.90	-23.97	-36.85	-45.56		-50.08
SA		-10.23	6.60	19.25	27.72		32.00
3 N		-117.97					-124.44
V		29.48	23.01	16.53	10.05		3.58
M		-2.14	19.67	36.09	47.14		52.80
SY		-20.70	-71.91	-110.56	-136.67		-150.23
SA		-30.70	19.80	57.75	83.15		96.00
4 N		0.90					0.90
V		-5.07	-5.07	-5.07	-5.07		-5.07
M		-0.36	-4.58	-8.79	-13.01		-17.22
SY		1.04	10.87	20.70	30.53		40.35
SA		-0.65	-10.47	-20.30	-30.13		-39.96
5 N		-1.30					-1.30
V		-4.00	-4.00	-4.00	-4.00		-4.00
M		-0.75	-4.08	-7.40	-10.72		-14.05
SY		1.47	9.22	16.97	24.72		32.47
SA		-2.04	-9.79	-17.54	-25.29		-33.04

SAUVA: 8

TAPAUS	PAA1:	7	2/8	4/8	6/8	PAA2:	11
1 N		-0.88					-1.17
V		-1.21	-1.50	-1.79	-2.08		-2.36
M		2.66	1.53	0.17	-1.44		-3.28
SY		-6.39	-3.78	-0.62	3.11		7.40
SA		6.01	3.37	0.17	-3.59		-7.91
2 N		-5.85					-8.01
V		-7.71	-9.87	-12.03	-14.19		-16.35
M		17.60	10.29	1.19	-9.70		-22.39
SY		-42.31	-25.39	-4.29	20.99		50.46
SA		39.76	22.61	1.27	-24.25		-53.95
3 N		-17.55					-24.03

	V	-23.14	-29.61	-36.09	-42.57	-49.04
	M	52.80	30.88	3.58	-29.10	-67.17
	SY	-126.94	-76.18	-12.88	62.98	151.38
	SA	119.29	67.83	3.82	-72.74	-161.85
4	N	-3.80				-3.80
	V	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90
	M	-17.22	-20.46	-23.70	-26.94	-30.18
	SY	39.33	46.88	54.43	61.98	69.53
	SA	-40.99	-48.54	-56.09	-63.64	-71.19
5	N	-5.01				-5.01
	V	-3.07	-3.07	-3.07	-3.07	-3.07
	M	-14.05	-16.60	-19.15	-21.71	-24.26
	SY	31.66	37.61	43.57	49.52	55.47
	SA	-33.85	-39.80	-45.75	-51.70	-57.66

SAUVA: 9

TAPAUS	PAA1:	8	2/8	4/8	6/8	PAA2:	10
1	N	0.00					0.00
	V	0.00	-0.02	-0.03	-0.05		-0.06
	M	0.00	0.00	0.00	-0.01		-0.01
	SY	0.00	0.01	0.03	0.06		0.12
	SA	0.00	-0.01	-0.03	-0.06		-0.12
2	N	0.00					0.00
	V	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
	M	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
	SY	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
	SA	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
3	N	0.00					0.00
	V	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
	M	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
	SY	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
	SA	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
4	N	0.00					0.00
	V	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
	M	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
	SY	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
	SA	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
5	N	0.00					0.00
	V	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
	M	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
	SY	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
	SA	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00

SAUVA: 10

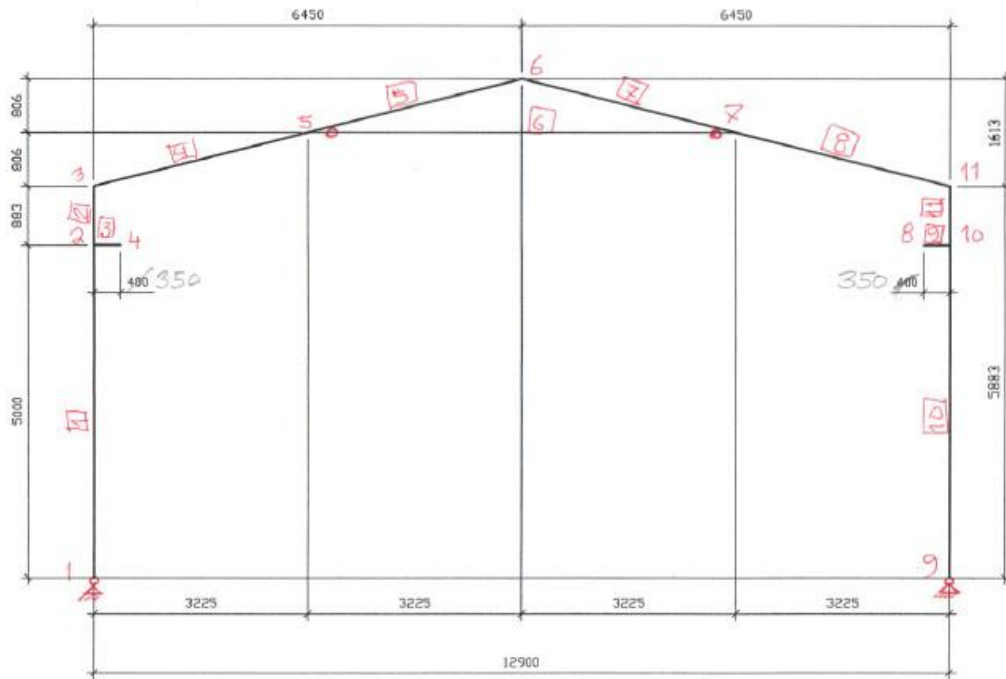
TAPAUS	PAA1:	9	2/8	4/8	6/8	PAA2:	10
1	N	4.75					-2.30
	V	0.56	0.56	0.56	0.56		0.56
	M	0.00	0.70	1.40	2.10		2.80
	SY	-1.03	-2.57	-4.10	-5.64		-7.17
	SA	-1.03	0.70	2.42	4.15		5.88

2	N	-17.80				-17.80
	V	3.81	3.81	3.81	3.81	3.81
	M	0.00	4.76	9.52	14.27	19.03
	SY	-3.88	-14.97	-26.06	-37.16	-48.25
	SA	-3.88	7.21	18.31	29.40	40.49
3	N	-53.41				-53.41
	V	11.42	11.42	11.42	11.42	11.42
	M	0.00	14.27	28.55	42.82	57.09
	SY	-11.64	-44.91	-78.19	-111.47	-144.75
	SA	-11.64	21.64	54.92	88.20	121.48
4	N	-4.70				-4.70
	V	7.51	6.50	5.49	4.48	3.46
	M	0.00	8.76	16.25	22.48	27.44
	SY	-1.02	-21.44	-38.91	-53.43	-65.00
	SA	-1.02	19.40	36.86	51.38	62.95
5	N	-4.20				-4.20
	V	4.12	4.12	4.12	4.12	4.12
	M	0.00	5.16	10.31	15.47	20.62
	SY	-0.91	-12.93	-24.95	-36.97	-48.99
	SA	-0.91	11.11	23.13	35.14	47.16

SAUVA: 11

TAPAUS		PAA1: 10	2/8	4/8	6/8	PAA2: 11
1	N	-2.89				-2.58
	V	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56
	M	2.79	2.91	3.03	3.16	3.28
	SY	-7.13	-7.40	-7.67	-7.94	-8.21
	SA	5.87	6.17	6.48	6.78	7.09
2	N	-17.80				-17.80
	V	3.81	3.81	3.81	3.81	3.81
	M	19.03	19.87	20.71	21.55	22.39
	SY	-48.25	-50.21	-52.17	-54.13	-56.08
	SA	40.49	42.45	44.41	46.37	48.33
3	N	-53.41				-53.41
	V	11.42	11.42	11.42	11.42	11.42
	M	57.09	59.61	62.13	64.65	67.17
	SY	-144.75	-150.63	-156.50	-162.38	-168.25
	SA	121.48	127.35	133.23	139.11	144.98
4	N	-4.70				-4.70
	V	3.46	3.28	3.10	2.92	2.74
	M	27.44	28.18	28.89	29.55	30.18
	SY	-65.00	-66.73	-68.37	-69.92	-71.38
	SA	62.95	64.68	66.33	67.88	69.33
5	N	-4.20				-4.20
	V	4.12	4.12	4.12	4.12	4.12
	M	20.62	21.53	22.44	23.35	24.26
	SY	-48.99	-51.11	-53.24	-55.36	-57.48
	SA	47.16	49.29	51.41	53.53	55.65

Teran laskentamalli



Liite 2 Jigi:n mallikehän statiikka

Yleistiedot:

Solmuja	11
Suurin solmunumero	11
Sauvoja	11
Suurin sauvanumero	11
Tukia	2
Poikkileikkauksia	3
Materiaaleja	1
Kuormitustapauksia	5

Solmupisteet ja tukiehdot

Solmu	x	z	DX	DZ	W
1	0,000	0,000	TUKI	TUKI	
2	0,000	5,000			
3	0,000	5,883			
4	0,400	5,000			
5	3,225	6,689			
6	6,450	7,495			
7	9,675	6,689			
8	12,500	5,000			
9	12,900	0,000	TUKI	TUKI	
10	12,900	5,000			
11	12,900	5,883			

Poikkileikkausarvot

1	IPE 270
2	IPE160
3	70X70X3

Steel member 1 kuormitustapauksessa 1:

Selected Combination

Name: 101: kt1
 Value: Normal Force Fx
 Max: -68 kN in point x = 5001 mm
 Min: -121 kN in point x = 0 mm

Selected Combination

Name: 101: kt1
 Value: Bending Moment My
 Max: 4 kNm in point x = 1372 mm
 Min: -23 kNm in point x = 4999 mm

Steel member 1 kuormitustapauksessa 2:

Selected Combination

Name: 102: kt2
 Value: Normal Force Fx
 Max: -69 kN in point x = 5001 mm
 Min: -144 kN in point x = 0 mm

Selected Combination

Name: 102: kt2
 Value: Bending Moment My
 Max: 0 kNm in point x = 0 mm
 Min: -36 kNm in point x = 4999 mm

Steel member 1 kuormitustapauksessa 3:

Selected Combination

Name: 103: kt3
 Value: Normal Force Fx
 Max: -73 kN in point x = 5001 mm
 Min: -148 kN in point x = 0 mm

Selected Combination

Name: 103: kt3
 Value: Bending Moment My
 Max: 0 kNm in point x = 0 mm
 Min: -65 kNm in point x = 4999 mm

Steel member 2 kuormitustapauksessa 1:

Selected Combination

Name: 101: kt1
Value: Normal Force Fx
Max: -91 kN in point x = 0 mm
Min: -91 kN in point x = 881 mm

Selected Combination

Name: 101: kt1
Value: Bending Moment My
Max: 170 kNm in point x = 0 mm
Min: 0 kNm in point x = 5880 mm

Steel member 2 kuormitustapauksessa 2:

Selected Combination

Name: 102: kt2
Value: Normal Force Fx
Max: -90 kN in point x = 0 mm
Min: -90 kN in point x = 881 mm

Selected Combination

Name: 102: kt2
Value: Bending Moment My
Max: 163 kNm in point x = 0 mm
Min: 0 kNm in point x = 5880 mm

Steel member 2 kuormitustapauksessa 3:

Selected Combination

Name: 103: kt3
Value: Normal Force Fx
Max: -86 kN in point x = 0 mm
Min: -86 kN in point x = 881 mm

Selected Combination

Name: 103: kt3
Value: Bending Moment My
Max: 136 kNm in point x = 0 mm
Min: 0 kNm in point x = 5880 mm

Steel member 3 kuormitustapauksessa 1:

Selected Combination
 Name: 101: kt1
 Value: Vertical Shear Force Fz
 Max: 60 kN in point x = 0 mm
 Min: 21 kN in point x = 3330 mm

Selected Combination
 Name: 101: kt1
 Value: Normal Force Fx
 Max: -169 kN in point x = 3320 mm
 Min: -179 kN in point x = 0 mm

Selected Combination
 Name: 101: kt1
 Value: Bending Moment My
 Max: 112 kNm in point x = 0 mm
 Min: -5 kNm in point x = 3320 mm

Steel member 3 kuormitustapauksessa 2:

Selected Combination
 Name: 102: kt2
 Value: Vertical Shear Force Fz
 Max: 61 kN in point x = 0 mm
 Min: 22 kN in point x = 3330 mm

Selected Combination
 Name: 102: kt2
 Value: Normal Force Fx
 Max: -171 kN in point x = 3320 mm
 Min: -180 kN in point x = 0 mm

Selected Combination
 Name: 102: kt2
 Value: Bending Moment My
 Max: 110 kNm in point x = 3330 mm
 Min: -28 kNm in point x = 0 mm

Steel member 3 kuormitustapauksessa 3:

Selected Combination
 Name: 103: kt3
 Value: Vertical Shear Force Fz
 Max: 65 kN in point x = 0 mm
 Min: 27 kN in point x = 3330 mm

Selected Combination
 Name: 103: kt3
 Value: Normal Force Fx
 Max: -174 kN in point x = 3320 mm
 Min: -183 kN in point x = 0 mm

Selected Combination
 Name: 103: kt3
 Value: Bending Moment My
 Max: 98 kNm in point x = 0 mm
 Min: -5 kNm in point x = 3320 mm

Steel member 4 kuormitustapauksessa 1:

Selected Combination

Name: 101: kt1
Value: Vertical Shear Force Fz
Max: -44 kN in point x = 0 mm
Min: -82 kN in point x = 3311 mm

Selected Combination

Name: 101: kt1
Value: Normal Force Fx
Max: -175 kN in point x = 0 mm
Min: -184 kN in point x = 3340 mm

Selected Combination

Name: 101: kt1
Value: Bending Moment My
Max: 37 kNm in point x = 0 mm
Min: -170 kNm in point x = 3311 mm

Steel member 4 kuormitustapauksessa 2:

Selected Combination

Name: 102: kt2
Value: Vertical Shear Force Fz
Max: -43 kN in point x = 0 mm
Min: -81 kN in point x = 3311 mm

Selected Combination

Name: 102: kt2
Value: Normal Force Fx
Max: -176 kN in point x = 0 mm
Min: -185 kN in point x = 3340 mm

Selected Combination

Name: 102: kt2
Value: Bending Moment My
Max: 41 kNm in point x = 0 mm
Min: -163 kNm in point x = 3311 mm

Steel member 4 kuormitustapauksessa 3:

Selected Combination

Name: 103: kt3
Value: Vertical Shear Force Fz
Max: -39 kN in point x = 0 mm
Min: -77 kN in point x = 3311 mm

Selected Combination

Name: 103: kt3
Value: Normal Force Fx
Max: -177 kN in point x = 0 mm
Min: -186 kN in point x = 3340 mm

Selected Combination

Name: 103: kt3
Value: Bending Moment My
Max: 57 kNm in point x = 0 mm
Min: -136 kNm in point x = 3311 mm

Steel member 6 kuormitustapauksessa 1:

Selected Combination

Name: 101: kt1
Value: Vertical Shear Force Fz
Max: -53 kN in point x = 0 mm
Min: -53 kN in point x = 400 mm

Selected Combination

Name: 101: kt1
Value: Bending Moment My
Max: 0 kNm in point x = 0 mm
Min: -21 kNm in point x = 400 mm

Steel member 6 kuormitustapauksessa 2:

Selected Combination

Name: 102: kt2
Value: Vertical Shear Force Fz
Max: -75 kN in point x = 0 mm
Min: -75 kN in point x = 400 mm

Selected Combination

Name: 102: kt2
Value: Bending Moment My
Max: 0 kNm in point x = 0 mm
Min: -30 kNm in point x = 400 mm

Liite 3 Robot Structural Analysis:n mallikehän statiikka

Calculation note

Project properties: KEHÄ UUSI

Structure type: Plane frame

Structure gravity center coordinates:

X = 0.000 (m)

Y = 0.000 (m)

Z = 0.000 (m)

Central moments of inertia of a structure:

Ix = 28560.332 (kg*m²)Iy = 93290.691 (kg*m²)Iz = 64741.055 (kg*m²)

Mass = 956.459 (kg)

Structure description

Number of nodes: 11

Number of bars: 7

Bar finite elements: 11

Planar finite elements: 0

Volumetric finite elements: 0

No of static degr. of freedom: 28

Cases:

Combinations:

Table of load cases / analysis types

Case 1 : DL1
Analysis type: Static - Linear

Case 2 : WIND1
Analysis type: Static - Linear

Case 3 : SN1
Analysis type: Static - Linear

Case 4 : Nosturi
Analysis type: Static - Linear

Case 5 : KT1
Analysis type: Linear combination

Case 6 : KT2
Analysis type: Linear combination

Case 7 : KT3
Analysis type: Linear combination

Case 8 : KT4
Analysis type: Linear combination

Case 9 : KT5
Analysis type: Linear combination

Section properties

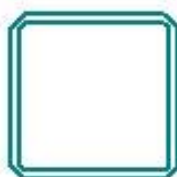
Section properties:

IPE 270



HY=13,50, HZ=27,00 [cm]
AX=45,94 [cm²]
IX=14,93, IY=5789,78, IZ=419,87 [cm⁴]
Material=S355J2G3

SQUA70x70x3



HY=7,00, HZ=7,00 [cm]
AX=7,81 [cm²]
IX=92,40, IY=57,50, IZ=57,50 [cm⁴]
Material=S355J2G3

IPE 180



HY=8,20, HZ=16,00 [cm]
AX=20,09 [cm²]
IX=3,53, IY=889,29, IZ=388,31 [cm⁴]
Material=S355J2G3

Nodes

Node	X (m)	Z (m)	Support code	Support
1	0,0	0,0	xof	Pinned
2	0,0	5,00		
3	0,0	5,88		
4	0,40	5,00		
5	3,23	6,69		
6	6,45	7,50		
7	9,68	6,69	xof	Pinned
8	12,90	5,88		
9	12,90	5,00		
10	12,90	0,0		
11	12,50	5,00		

PRODUCED BY A STUDENT EDUCATIONAL PRODUCT

reactions: values

in the coordinate system global - Cases: 1 to 9

Node/Case	FX (kN)	FZ (kN)	MY (kNm)
1/ 1	4,48	23,04	0,0
1/ 2	-13,08	-4,69	0,0
1/ 3	11,77	55,05	0,0
1/ 4	-2,68	46,01	0,0
1/ 5 (C)	-4,94	125,57	0,0
1/ 6 (C)	1,71	149,09	0,0
1/ 7 (C)	13,48	153,31	0,0
1/ 8 (C)	10,03	107,58	0,0
1/ 9 (C)	-2,25	89,09	0,0
10/ 1	-4,48	23,04	0,0
10/ 2	-7,50	4,69	0,0
10/ 3	-11,77	55,05	0,0
10/ 4	-4,12	4,19	0,0
10/ 5 (C)	-33,07	95,74	0,0
10/ 6 (C)	-30,43	94,81	0,0
10/ 7 (C)	-23,68	90,59	0,0
10/ 8 (C)	-16,83	65,77	0,0
10/ 9 (C)	-23,09	69,20	0,0
Case 1 DL1			
Sum of val.	-0,00	46,08	0,0
Sum of reac.	-0,00	46,08	0,0
Sum of forc.	0,00	-46,08	0,0
Check val.	-0,00	0,00	-0,00
Precision	5,36853e-014	9,04832e-028	
Case 2 WIND1			
Sum of val.	-20,58	0,00	0,0
Sum of reac.	-20,58	0,00	-60,53
Sum of forc.	20,58	0,00	60,53
Check val.	-0,00	0,00	-0,00
Precision	1,32949e-012	3,84088e-025	
Case 3 SN1			
Sum of val.	-0,00	110,10	0,0
Sum of reac.	-0,00	110,10	-710,15
Sum of forc.	0,00	-110,10	710,15
Check val.	-0,00	0,00	-0,00
Precision	6,42000e-014	1,10824e-027	
Case 4 PASTORI			
Sum of val.	-6,80	50,20	0,0
Sum of reac.	-6,80	50,20	-54,08
Sum of forc.	6,80	-50,20	54,08
Check val.	-0,00	-0,00	-0,00
Precision	2,17192e-013	2,72222e-025	
Case 5 (C) KT1			
Sum of val.	-38,01	221,31	0,0

Node/Case	FX (kN)	FZ (kN)	MY (kNm)
Sum of reac.	-38,01	221,31	-1235,04
Sum of forc.	38,01	-221,31	1235,04
Check val.	-0,00	0,00	-0,00
Precision	2,35224e-012	8,64169e-025	
Case 6 (C)	KT2		
Sum of val.	-28,72	243,90	0,0
Sum of reac.	-28,72	243,90	-1223,08
Sum of forc.	28,72	-243,90	1223,08
Check val.	-0,00	0,00	-0,00
Precision	1,65228e-012	7,56218e-025	
Case 7 (C)	KT3		
Sum of val.	-10,20	243,90	0,0
Sum of reac.	-10,20	243,90	-1168,58
Sum of forc.	10,20	-243,90	1168,58
Check val.	-0,00	0,00	-0,00
Precision	4,55734e-013	4,10537e-025	
Case 8 (C)	KT4		
Sum of val.	-6,80	173,35	0,0
Sum of reac.	-6,80	173,35	-848,40
Sum of forc.	6,80	-173,35	848,40
Check val.	-0,00	0,00	-0,00
Precision	3,16350e-013	2,73902e-025	
Case 9 (C)	KT5		
Sum of val.	-25,34	158,29	0,0
Sum of reac.	-25,34	158,29	-892,71
Sum of forc.	25,34	-158,29	892,71
Check val.	-0,00	0,00	-0,00
Precision	1,58089e-012	5,76324e-025	

force: values

- Cases: 1 to 9

Bar/Node/Case	FX (kN)	FZ (kN)	MY (kNm)
2/ 10/ 1	23,04	4,48	0,0
2/ 10/ 2	4,69	7,50	0,0
2/ 10/ 3	55,05	11,77	0,0
2/ 10/ 4	4,19	4,12	0,0
2/ 10/ 5 (C)	95,74	33,07	0,0
2/ 10/ 6 (C)	94,81	30,43	0,0
2/ 10/ 7 (C)	90,59	23,68	0,0
2/ 10/ 8 (C)	65,77	16,83	0,0
2/ 10/ 9 (C)	69,20	23,09	0,0
2/ 8/ 1	20,90	4,48	26,32
2/ 8/ 2	4,69	2,74	30,12
2/ 8/ 3	55,05	11,77	69,22
2/ 8/ 4	4,19	4,12	24,24
2/ 8/ 5 (C)	93,27	25,94	173,57
2/ 8/ 6 (C)	92,35	26,15	166,40
2/ 8/ 7 (C)	88,12	23,68	139,59
2/ 8/ 8 (C)	63,62	16,83	66,55
2/ 8/ 9 (C)	67,06	18,34	65,55
1/ 1/ 1	23,04	-4,48	0,0
1/ 1/ 2	-4,69	13,08	0,0
1/ 1/ 3	55,05	-11,77	0,0
1/ 1/ 4	46,01	2,68	0,0
1/ 1/ 5 (C)	125,57	4,95	0,0
1/ 1/ 6 (C)	149,09	-21,3	0,0
1/ 1/ 7 (C)	153,31	13,38	0,0
1/ 1/ 8 (C)	107,58	10,03	0,0
1/ 1/ 9 (C)	89,09	2,25	0,0
1/ 3/ 1	20,90	-4,48	-26,32
1/ 3/ 2	-4,69	-2,74	30,41
1/ 3/ 3	55,05	-11,77	-69,22
1/ 3/ 4	-4,19	-4,12	29,84
1/ 3/ 5 (C)	70,38	-25,94	-25,99
1/ 3/ 6 (C)	31,32	-26,15	-30,81
1/ 3/ 7 (C)	75,55	-23,68	-58,18
1/ 3/ 8 (C)	55,24	-16,83	-44,93
1/ 3/ 9 (C)	51,81	-18,34	-23,46
6/ 2/ 1	0,0	0,06	-0,01
6/ 2/ 2	0,0	0,00	-0,00
6/ 2/ 3	0,0	0,00	-0,00
6/ 2/ 4	-6,80	50,20	-20,08
6/ 2/ 5 (C)	-7,14	52,78	-21,10
6/ 2/ 6 (C)	-10,20	75,37	-30,13
6/ 2/ 7 (C)	-10,20	75,37	-30,13
6/ 2/ 8 (C)	-6,80	50,26	-20,09
6/ 2/ 9 (C)	-4,76	35,20	-14,07
6/ 4/ 1	0,0	0,00	0,0
6/ 4/ 2	0,0	0,00	0,0
6/ 4/ 3	0,0	0,00	0,0
6/ 4/ 4	-6,80	50,20	0,0

Bar/Node/Case	FX (kN)	FZ (kN)	MY (kNm)
6/ 4/ 5 (C)	-7,14	52,71	0,0
6/ 4/ 6 (C)	-10,20	75,30	0,0
6/ 4/ 7 (C)	-10,20	75,30	0,0
6/ 4/ 8 (C)	-6,80	50,20	0,0
6/ 4/ 9 (C)	-4,76	35,14	0,0
7/ 9/ 1	0,0	0,06	-0,01
7/ 9/ 2	-0,00	0,0	0,0
7/ 9/ 3	0,0	0,0	0,00
7/ 9/ 4	0,0	0,00	-0,00
7/ 9/ 5 (C)	-0,00	0,07	-0,01
7/ 9/ 6 (C)	-0,00	0,07	-0,01
7/ 9/ 7 (C)	0,0	0,07	-0,01
7/ 9/ 8 (C)	0,0	0,06	-0,01
7/ 9/ 9 (C)	-0,00	0,06	-0,01
7/ 11/ 1	0,0	-0,00	0,0
7/ 11/ 2	-0,00	0,0	0,0
7/ 11/ 3	0,0	0,0	0,0
7/ 11/ 4	0,0	0,00	0,0
7/ 11/ 5 (C)	-0,00	0,00	0,0
7/ 11/ 6 (C)	-0,00	0,00	-0,0
7/ 11/ 7 (C)	0,0	0,00	0,0
7/ 11/ 8 (C)	0,0	0,00	0,0
7/ 11/ 9 (C)	-0,00	0,00	0,0
4/ 8/ 1	9,41	19,19	-26,32
4/ 8/ 2	3,80	3,89	-30,12
4/ 8/ 3	24,76	50,56	-69,22
4/ 8/ 4	5,01	2,98	-24,24
4/ 8/ 5 (C)	47,76	83,55	-173,57
4/ 8/ 6 (C)	47,76	83,55	-166,40
4/ 8/ 7 (C)	44,34	29,75	-139,30
4/ 8/ 8 (C)	31,76	57,64	-99,01
4/ 8/ 9 (C)	34,05	60,61	-121,85
4/ 6/ 1	46,12	-11,54	-0,90
4/ 6/ 2	-0,94	5,06	-0,36
4/ 6/ 3	121,22	-30,42	-2,29
4/ 6/ 4	1,36	4,00	-0,75
4/ 6/ 5 (C)	166,66	-33,42	-4,76
4/ 6/ 6 (C)	161,81	-34,66	-4,89
4/ 6/ 7 (C)	162,63	-39,22	-4,56
4/ 6/ 8 (C)	132,52	-28,84	-3,25
4/ 6/ 9 (C)	131,22	-24,97	-3,38
3/ 3/ 1	9,41	19,19	-26,32
3/ 3/ 2	1,52	-5,22	30,41
3/ 3/ 3	24,76	50,56	-69,22
3/ 3/ 4	2,98	-5,07	29,84
3/ 3/ 5 (C)	42,23	62,00	-25,99
3/ 3/ 6 (C)	42,66	62,85	-30,81
3/ 3/ 7 (C)	41,29	67,55	-58,18
3/ 3/ 8 (C)	29,72	49,51	-44,93
3/ 3/ 9 (C)	30,35	45,81	-23,46
3/ 6/ 1	46,12	-11,54	-0,90
3/ 6/ 2	-3,19	-4,04	-0,36

Bar/Node/Case	FX (kN)	FZ (kN)	MY (kNm)
3/ 6/ 3	121,58	-30,42	-2,29
3/ 6/ 4	-0,73	-4,14	-0,75
3/ 6/ 5 (C)	175,13	-55,82	-4,76
3/ 6/ 6 (C)	176,71	-55,05	-4,89
3/ 6/ 7 (C)	179,58	-51,42	-4,56
3/ 6/ 8 (C)	130,48	-36,97	-3,25
3/ 6/ 9 (C)	127,51	-39,77	-3,38
5/ 5/ 1	-43,07	0,19	0,0
5/ 5/ 2	4,85	0,0	0,0
5/ 5/ 3	-113,54	0,0	0,0
5/ 5/ 4	3,83	0,0	0,0
5/ 5/ 5 (C)	-157,45	0,22	0,0
5/ 5/ 6 (C)	-158,64	0,22	0,0
5/ 5/ 7 (C)	-163,01	0,22	0,0
5/ 5/ 8 (C)	-118,72	0,19	0,0
5/ 5/ 9 (C)	-115,02	0,19	0,0
5/ 7/ 1	-43,07	-0,19	0,0
5/ 7/ 2	4,85	0,0	0,0
5/ 7/ 3	-113,54	0,0	0,0
5/ 7/ 4	3,83	0,0	0,0
5/ 7/ 5 (C)	-157,45	-0,22	0,0
5/ 7/ 6 (C)	-158,64	-0,22	0,0
5/ 7/ 7 (C)	-163,01	-0,22	0,0
5/ 7/ 8 (C)	-118,72	-0,19	0,0
5/ 7/ 9 (C)	-115,02	-0,19	0,0

Liite 4 Dos-Teran mallikehän statiikka

TEKLA / Savela Oy
TERA/TE1300 (3.10)

Tuottajantie 29

SIVU

YLEISTIEDOT:

SOLMUJA	11
SUURIN SOLMUNUMERO	11
SAUVOJA	11
SUURIN SAUVANUMERO	11
TUKIA	2
POIKKILEIKKAUKSIA	2
MATERIAALEJA	1
KUORMITUSTAPAUKSIA	4

SOLMUPISTEET JA TUKIEHDOT

SOLMU	X	Z	DX	DZ	WY
1	0.000	0.000	TUKI	TUKI	TUKI
2	0.000	5.000			
3	0.000	5.883			
4	0.350	5.000			
5	3.225	6.689			
6	6.450	7.495			
7	9.675	6.689			
8	12.550	5.000			
9	12.900	0.000	TUKI	TUKI	TUKI
10	12.900	5.000			
11	12.900	5.883			

SAUVA-ARVOT

SAUVA	PAA1	PAA2	PITUUS	SIN	COS	P-L
1	1	2	5.000	1.00	0.00	1
2	2	3	0.883	1.00	0.00	1
3	2	4	0.350	0.00	1.00	1
4	3	5	3.324	0.24	0.97	1
5	5	6	3.324	0.24	0.97	1
6	5 NIVEL	7 NIVEL	6.450	0.00	1.00	2
7	6	7	3.324	-0.24	0.97	1
8	7	11	3.324	-0.24	0.97	1
9	8	10	0.350	0.00	1.00	1
10	9	10	5.000	1.00	0.00	1
11	10	11	0.883	1.00	0.00	1

POIKKILEIKKAUSARVOT

P-L	T	M	H	B	HY	HA	BY	BA
1	1	1	IPE300					
2	1	1	P60*5					

P-L	T	A	I	EY	EA
1		.53800E-02	.83600E-04	0.150	0.150
2		.10142E-02	.47954E-06	0.030	0.030

TEKLA / Savela Oy
TERA/TE1300 (3.10)

Tuottajantie 29

SIVU 2

MATERIAALIT

M E
1 .21000E+09

KUORMITUSTAPAUSET 1: pysyvät

TUNNUS	S/N	S1	S2	S3	S4	SUUNTA
8	4	-2.678	-2.678	0.000	3.324	Z
8	5	-2.678	-2.678	0.000	3.324	Z
8	7	-2.678	-2.678	0.000	3.324	Z
8	8	-2.678	-2.678	0.000	3.324	Z
SUMMA-X						0.32706E-08
SUMMA-Z						-0.35604E+02

KUORMITUSTAPAUSET 2: lumi

TUNNUS	S/N	S1	S2	S3	S4	SUUNTA
8	4	-7.140	-7.140	0.000	3.324	Z
8	5	-7.140	-7.140	0.000	3.324	Z
8	7	-7.140	-7.140	0.000	3.324	Z
8	8	-7.140	-7.140	0.000	3.324	Z
SUMMA-X						-0.23181E-06
SUMMA-Z						-0.94944E+02

KUORMITUSTAPAUSET 3: tuuli

TUNNUS	S/N	S1	S2	S3	S4	SUUNTA
8	1	2.070	2.070	0.000	5.000	X
8	2	2.070	2.070	0.000	0.883	X
8	4	0.502	0.502	0.000	3.324	X
8	5	0.502	0.502	0.000	3.324	X
8	10	0.414	0.414	0.000	5.000	X
8	11	0.414	0.414	0.000	0.883	X
8	8	0.100	0.100	0.000	3.324	X
8	7	0.100	0.100	0.000	3.324	X
SUMMA-X						0.18618E+02
SUMMA-Z						-0.67394E-08

KUORMITUSTAPAUSET 4: nosturi

TUNNUS	S/N	S1	S2	S3	S4	SUUNTA
16	4	6.800	-50.200	0.000		
16	8	0.000	-3.000	0.000		
SUMMA-X						0.68000E+01
SUMMA-Z						-0.53200E+02

SAUVA: 7											
TAPAUS		PAA1:	6	1/8	2/8	3/8	4/8	5/8	6/8	7/8	PAA2: 7
1	N	-34.67									-36.83
	V	8.67		7.59	6.51	5.43	4.35	3.27	2.19	1.11	0.03
	M	-0.08		3.30	6.23	8.71	10.74	12.32	13.45	14.14	14.37
2	N	-92.46									-98.21
	V	23.11		20.23	17.35	14.47	11.59	8.71	5.84	2.96	0.08
	M	-0.21		8.80	16.60	23.22	28.63	32.85	35.87	37.70	38.33
3	N	-0.10									-0.42
	V	-1.73		-1.72	-1.71	-1.70	-1.69	-1.68	-1.67	-1.66	-1.65
	M	-0.55		-1.26	-1.98	-2.68	-3.39	-4.09	-4.78	-5.48	-6.16
4	N	-0.41									-0.41
	V	-1.55		-1.55	-1.55	-1.55	-1.55	-1.55	-1.55	-1.55	-1.55
	M	-0.84		-1.49	-2.14	-2.78	-3.43	-4.08	-4.72	-5.37	-6.01
SAUVA: 8											
TAPAUS		PAA1:	7	1/8	2/8	3/8	4/8	5/8	6/8	7/8	PAA2: 11
1	N	-8.50									-10.66
	V	-7.05		-8.13	-9.21	-10.29	-11.37	-12.45	-13.53	-14.61	-15.69
	M	14.37		11.22	7.62	3.57	-0.93	-5.88	-11.28	-17.12	-23.42
2	N	-22.67									-28.42
	V	-18.80		-21.68	-24.56	-27.44	-30.31	-33.19	-36.07	-38.95	-41.83
	M	38.33		29.92	20.32	9.51	-2.49	-15.68	-30.07	-45.66	-62.44
3	N	-3.62									-3.95
	V	-0.85		-0.84	-0.83	-0.82	-0.81	-0.80	-0.79	-0.78	-0.77
	M	-6.16		-6.51	-6.86	-7.20	-7.54	-7.87	-8.20	-8.53	-8.85
4	N	-4.51									-4.51
	V	-0.53		-0.53	-0.53	-0.53	-0.53	-0.53	-0.53	-0.53	-0.53
	M	-6.01		-6.23	-6.45	-6.67	-6.89	-7.12	-7.34	-7.56	-7.78

TEKLA / Savela Oy
TERA/TE1300 (3.10)

Tuottajantie 29

SIVU 10

KUORMITUSTAPAUSTULOSTUS

SAUVA: 9

TAPAU	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	N	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	V	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	M	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	N	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	V	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	M	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	N	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	V	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	M	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	N	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	V	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00
	M	-0.13	-0.26	-0.39	-0.52	-0.79	-0.92	-1.05	-1.05	-1.05

SAUVA: 10

TAPAU	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P	1	N	-17.80	6.54	6.54	6.54	6.54	6.54	6.54	-17.80
		V	6.54	6.54	6.54	6.54	6.54	6.54	6.54	6.54
		M	-15.04	-10.95	-2.78	1.30	13.56	17.64	17.64	17.64
L	2	N	-47.47	17.43	17.43	17.43	17.43	17.43	17.43	-47.47
		V	17.43	17.43	17.43	17.43	17.43	17.43	17.43	17.43
		M	-40.10	-29.21	-7.42	3.47	36.15	47.05	47.05	47.05

T	3	N	-1.70 6.08 -19.74	5.82 -16.02	5.56 -12.47	5.30 -9.07	5.04 -5.84	4.78 -2.77	4.53 0.14	4.27 2.89	-1.70 4.01 5.47
N	4	N	-4.61 4.25 -16.18	4.25 -13.52	4.25 -10.87	4.25 -8.21	4.25 -5.55	4.25 -2.90	4.25 -0.24	4.25 2.42	-4.61 4.25 5.07
SAUVA: 11											
TAPAU											
		PAA1:	10	1/8	2/8	3/8	4/8	5/8	6/8	7/8	PAA2: 11
1	N		-17.80								-17.80
	V		6.54	6.54	6.54	6.54	6.54	6.54	6.54	6.54	6.54
	M		17.64	18.36	19.09	19.81	20.53	21.25	21.97	22.69	23.42
2	N		-47.47								-47.47
	V		17.43	17.43	17.43	17.43	17.43	17.43	17.43	17.43	17.43
	M		47.05	48.97	50.90	52.82	54.74	56.67	58.59	60.52	62.44
3	N		-1.70								-1.70
	V		4.01	3.96	3.92	3.87	3.83	3.78	3.74	3.69	3.64
	M		5.47	5.91	6.35	6.78	7.20	7.62	8.04	8.45	8.85
4	N		-1.61								-1.61
	V		4.25	4.25	4.25	4.25	4.25	4.25	4.25	4.25	4.25
	M		4.02	4.49	4.96	5.43	5.90	6.37	6.84	7.31	7.70

